

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

**“EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA, DEL
CANTÓN ANTONIO ANTE, DE LA PROVINCIA DE IMBABURA”.**

MANTILLA MANTILLA PATRICIO SEBASTIÁN

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR: ING. FERNANDO CASTRO CARRERA

Quito, Marzo 2017

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a Dios por haberme bendecido durante toda mi vida estudiantil, segundo quiero agradecer a mis padres y hermanos por ser un ejemplo de superación para mí y brindarme su apoyo en todo momento.

Me gustaría agradecer también a mi director de tesis, Ing. Fernando Castro Carrera, por impartir sus conocimientos y tener toda la buena predisposición durante el desarrollo de mi tesis.

De igual forma quiero agradecer a mis revisores, Ing. Pablo Daza e Ing. Roberto Unda, por compartir sus conocimientos y comentarios.

Por último, quiero agradecer a todos mis familiares y amigos por siempre estar presentes con un consejo o unas palabras de aliento.

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar a cumplir este sueño y bendecirme en todo momento.

A mis padres, por enseñarme que en la vida no todo es fácil pero que si se persiste, siempre existirá una buena recompensa.

ÍNDICE

ÍNDICE	iv
ÍNDICE DETABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	x
ÍNDICE DE MAPAS.....	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	xii
1.1. Antecedentes.	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.	3
Objetivo General	3
Objetivos específicos	3
1.4. Metodología.	3
CAPÍTULO II: INFORMACIÓN GENERAL	5
2.1 Información general del área de influencia.....	5
2.1.1 Información general.....	5
2.1.2 Ubicación de la planta de tratamiento	6
2.1.3 Características Climáticas	8
2.2. Descripción del sistema de alcantarillado de Chaltura y Natabuela.	9
2.3 Descripción de la planta depuradora a evaluar	11
2.3.1 Descripción general.....	11
2.3.2 Componentes	12
2.3.2.1 Pretratamiento.....	15
2.3.2.2 Tratamiento primario	18
2.3.2.3 Tratamiento secundario.....	19
CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LITERATURA TÉCNICA.	24
3.1 Aspectos generales sobre aguas residuales.	24
3.1.2 Tipos.....	24
3.1.2.3 Aguas de infiltración.	25

3.1.2.4 Aguas pluviales que ingresan al sistema de alcantarillado.....	25
3.1.3 Composición.....	25
3.1.3.1 Parámetros físicos.....	27
3.1.3.2 Parámetros químicos.....	27
3.1.3.3 Parámetros biológicos.....	29
3.2.1 Humedales artificiales	31
3.2.1.1 Definición.....	31
3.2.1.2 Componentes	32
3.2.1.3 Tipos.....	32
3.2.1.4 Funcionamiento	34
3.2.1.5 Eficiencia	36
3.2.2.1 Definición.....	37
3.2.2.2 Tipos de plantas acuáticas	37
3.2.2.3 Funcionamiento de las plantas acuáticas en un sistema de depuración...41	
3.2.2.4 Eficiencia	42
3.3 Criterios de diseño	43
3.3.1 Criterios de diseño de humedales	43
3.3.2 Criterios de diseño de tratamiento con plantas acuáticas.	44
3.4 Predicción de la calidad del efluente.....	46
3.4.1 Reactor de flujo tipo pistón	47
3.4.2 Reactor completamente mezclado.	49
3.5 Uso de aguas residuales para riego de cultivos	50
3.5.1 Normativa	52
CAPÍTULO IV: INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	54
4.1 Metodología del trabajo experimental.....	54
4.2 Mediciones de campo.....	58
4.2.1 Medición de caudal.....	58
4.2.3 Medición de la calidad del agua.	60
4.2.3.1 DBO ₅	60

4.2.3.2 Coliformes fecales.....	61
4.2.3.3 Otros.....	62
CAPÍTULO V: RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.....	64
5.1 Presentación de resultados.....	64
5.2 Análisis e interpretación de resultados.....	65
5.2.1 Eficiencia de la planta depuradora en la remoción de DBO ₅ y coliformes fecales (E. coli).....	65
5.2.2 Tiempo de retención.....	67
5.2.3 Carga orgánica superficial.....	68
5.2.4 Estimación de DBO ₅ y concentración de coliformes fecales (C.F.) en el efluente secundario.....	69
5.2.4.1 Predicción de la calidad del efluente considerando reactores completamente mezclados en serie.....	69
5.2.4.2 Predicción de la calidad del efluente considerando reactores tipo pistón.....	74
5.2.5 Comparación con la normativa vigente para descarga en cuerpos de agua dulce.....	78
5.2.6 Comparación con la normativa vigente para uso del efluente en riego.....	79
5.3 Recomendaciones para la operación de la planta.....	79
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
6.1 Conclusiones.....	81
6.2 Recomendaciones.....	82
BIBLIOGRAFÍA	84
Anexo 1	86
Anexo 2	90
Anexo 3	92
Anexo 4	99
Anexo 5	102
Anexo 6	107
Anexo 7	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cálculo de volúmenes parciales y volumen total de los estanques.	20
Tabla 2: Resultados obtenidos del análisis de aguas realizado por EPAA-AA con la colaboración del docente de la Universidad de Sapiencia	23
Tabla 3: Composición del Jacinto de aguas residuales.....	39
Tabla 4: Calidad esperada en los tratamientos con plantas acuáticas	42
Tabla 5: Criterios de diseño para humedales con flujo superficial (FWS).....	44
Tabla 6: Criterios de diseño para humedales con flujo subsuperficial (SSF)	44
Tabla 7: Criterios de diseño para sistemas de tratamiento con Jacinto de agua	45
Tabla 8: Criterios de diseño para pulimento de efluentes con sistemas de tratamiento con lenteja de agua	46
Tabla 9: Criterios de diseño para tratamiento con lenteja de agua para efluentes primarios.....	46
Tabla 10: Estándares de calidad para el uso de aguas residuales en la agricultura.....	51
Tabla 11: Criterios de calidad de aguas para uso agrícola en riego	53
Tabla 12: Calendario de la toma de muestras.....	55
Tabla 13: Resultados obtenidos de la planta de tratamiento.	64
Tabla 14: Porcentaje de remoción para DBO_5 y coliformes fecales.....	66
Tabla 15: Tiempo de retención	67
Tabla 16: Predicción de la calidad del efluente al final de los 38 reactores completamente mezclados para DBO_5 en cada día.....	71
Tabla 17: Predicción de la calidad del efluente al final de los 38 reactores completamente mezclados para coliformes fecales en cada día.....	73
Tabla 18: Predicción de la calidad del efluente al final de los 38 reactores tipo pistón para DBO_5 en cada día.	75
Tabla 19: Predicción de la calidad del efluente al final de los 38 reactores tipo pistón para coliformes fecales en cada día.	77
Tabla 20: Cálculo del área superficial del tratamiento secundario de la planta depuradora.	100
Tabla 21: Tiempos de retención para los 38 reactores para cada día.	101
Tabla 22: DBO_5 calculada en el efluente de cada reactor para reactores completamente mezclados en serie.....	103
Tabla 23: Concentración calculada de coliformes fecales (E. Coli) en el efluente de cada reactor para reactores completamente mezclados en serie.	104

Tabla 24: DBO ₅ calculada en el efluente de cada reactor para reactores tipo pistón.	105
Tabla 25: Concentración calculada de coliformes fecales (E. Coli) en el efluente de cada reactor para reactores tipo pistón.....	106
Tabla 26: Constantes de velocidad de remoción para DBO ₅ en los reactores completamente mezclado y tipo pistón.	108
Tabla 27: Constantes de velocidad de remoción para coliformes fecales en los reactores completamente mezclado y tipo pistón.	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de la ubicación de la planta de tratamiento y de las parroquias de Chaltura y Natabuela.....	7
Figura 2: Esquema de la planta depuradora	13
Figura 3: Esquema del perfil de la planta depuradora.....	14
Figura 4: Esquema de las dimensiones de los estanques.	20
Figura 5: Composición de las aguas residuales	26
Figura 6: Esquema de humedales artificiales de flujo superficial.	33
Figura 7: Humedal de flujo subsuperficial	34
Figura 8: Procesos de los humedales artificiales	36
Figura 9: Jacinto de agua	38
Figura 10: Morfología del Jacinto de agua	39
Figura 11: Morfología de la lenteja de agua	40
Figura 12: Esquema de un sistema de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas.....	41
Figura 13: Esquema de un reactor de flujo en pistón	47
Figura 14: Esquema de un reactor de mezcla completa	49
Figura 15: Esquema del vertedero triangular	59

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Acequia que conduce aguas residuales tratadas.	11
Fotografía 2: Cajón con rejilla	15
Fotografía 3: Desarenador	15
Fotografía 4: Cajón regulador de caudal.....	15
Fotografía 5: Disposición de la rejilla dentro del cajón	16
Fotografía 6: Disposición del desarenador	17
Fotografía 7: Disposición del cajón repartidor de caudal.....	18
Fotografía 8: Disposición de los estanques en la plataforma “Natabuela”.....	19
Fotografía 9: Dispositivo en T (PVC) para salida del efluente de cada estanque.....	19
Fotografía 10: Descarga del efluente del último estanque.	21
Fotografía 11: Cosecha de la planta acuática flotante (Jacinto de agua)	22
Fotografía 12: En la parte derecha se observa el “lecho de secado”.....	22
Fotografía 13: Medición de caudales.	54
Fotografía 14: Toma de muestra al ingreso de la planta de tratamiento.....	55
Fotografía 15: Toma de muestra a la salida de la planta de tratamiento	56
Fotografía 16: Contenedor con las muestras diarias.....	56
Fotografía 17: Toma de la muestra adicional a la entrada y salida de la planta de tratamiento.	57
Fotografía 18: Medición de la profundidad de los estanques.	57
Fotografía 19: Vertedero triangular de pared delgada con descarga libre.....	58
Fotografía 20: Medición de la temperatura del agua con el termohigrómetro.....	60
Fotografía 21: Toma de muestra en el envase estandarizado de vidrio.	61
Fotografía 22: Envases estandarizados para el muestreo	62
Fotografía 23: Envase para la toma de muestra de coliformes fecales y totales.....	63

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Área de cobertura del sistema de alcantarillado en Natabuela.	87
Mapa 2: Área de cobertura del sistema de alcantarillado en Chaltura.	88
Mapa 3: Ubicación general de los dos sistemas de alcantarillado y de la planta depuradora.....	89

RESUMEN

En la planta de tratamiento de aguas residuales de las parroquias Chaltura y Natabuela, del cantón Antonio Ante, de la provincia de Imbabura, se realizó una evaluación preliminar para determinar si la planta se encuentra funcionando correctamente para los fines que fue creada. Para conocer la eficiencia de la planta depuradora se estudió el tratamiento secundario que consiste en un sistema de 38 estanques con plantas acuáticas flotantes (jacinto y lenteja de agua).

Las muestras tomadas a la entrada y salida del tratamiento secundario durante un período de 16 días fueron utilizadas para realizar los análisis de DBO_5 y coliformes fecales (*E. coli*) en el laboratorio. Estos resultados fueron utilizados para determinar el porcentaje de eficiencia en la remoción de DBO_5 y coliformes fecales; además se realizó la predicción de la calidad del efluente utilizando dos modelos cinéticos teóricos (reactor completamente mezclado y flujo tipo pistón), el tiempo de retención promedio calculado y el cálculo de la carga orgánica superficial a la entrada del tratamiento secundario.

Las eficiencias obtenidas para DBO_5 y coliformes fecales fueron 56,6% y 83,5%, respectivamente. Para el caso del tiempo de retención promedio se obtuvo un valor de 6,39 días y para la carga orgánica superficial un valor de 309,55 kg $\text{DBO}_5/\text{ha.d}$. En el caso de la predicción de la calidad del efluente con el reactor completamente mezclado y flujo tipo pistón se obtuvieron valores inferiores a los resultados experimentales, esto se debe a que se utilizó una constante de velocidad de reacción recomendada por la literatura técnica, que no se reproduce en la realidad de esta planta de depuradora.

Finalmente, la calidad del efluente de esta planta de tratamiento no cumple con los estándares de calidad para uso como agua de riego, debido a que el valor de coliformes fecales excede el límite permisible según la norma vigente en nuestro país.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1. Antecedentes.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Antonio Ante cuenta con una planta depuradora para las parroquias Chaltura y Natabuela, del cantón Antonio Ante. Esta planta de tratamiento se encuentra a cargo de la Dirección de Gestión Ambiental del municipio, siendo ésta la encargada de su mantenimiento y operación.

En la actualidad, la planta de tratamiento se encuentra operando con normalidad. El caudal que ingresa es aproximadamente de 10 L/s y trata principalmente aguas de origen doméstico de las parroquias Chaltura y Natabuela del cantón Antonio Ante. Las aguas combinadas de estas parroquias, antes de la construcción de la planta depuradora, se descargaban en cauces naturales.

Debido al impacto ambiental que producía la descarga de aguas residuales directamente a un cauce natural, el Municipio de Antonio Ante procedió a construir la planta de tratamiento de aguas residuales en Chaltura, utilizando la tecnología de depuración por medio de plantas acuáticas.

Esta planta de tratamiento empezó a operar en el año 2009 y consta de tres etapas bien definidas: la primera (tratamiento preliminar), dispone de una rejilla para retener materiales sólidos, un desarenador para retener materiales más pesados y un dispositivo de repartición de caudal, encargado de enviar un caudal uniforme de agua a la segunda etapa del tratamiento; la segunda etapa (tratamiento primario), consiste de dos tanques sedimentadores con capacidad de 250 m³ cada uno, cuya misión es la de retener los sólidos sedimentables presentes en el agua residual; y, finalmente, la tercera etapa (tratamiento secundario), está destinada a depurar las aguas residuales mediante 38 estanques con plantas acuáticas. El efluente se descarga en una acequia junto a

la calle de ingreso a la planta depuradora, que conecta a los terrenos aledaños para su respectivo uso como agua de riego.

Adicionalmente, las plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento secundario, son cosechadas cada 15 días para evitar su sobrepoblación, las cuáles una vez cosechadas se utilizan como abono por parte de los pobladores aledaños a la planta de tratamiento o en ciertos casos se depositan en un área destinada para su secado y descomposición. Estos residuos descompuestos permanecen almacenados en la planta de tratamiento.

En las parroquias Chaltura y Natabuela, los pobladores se dedican a actividades agrícolas y actualmente utilizan como agua de riego el efluente proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales, para cultivos de maíz, fréjol, papas y verduras, entre otros.

1.2. Justificación.

El GAD Municipal de Antonio Ante debido al impacto ambiental que producía la descarga de aguas combinadas directamente a un cauce natural, en este caso a una quebrada ubicada en el barrio El Carmen, construyeron la planta de tratamiento de aguas residuales en Chaltura. El efluente de la planta depuradora está siendo utilizado para riego de cultivos agrícolas y para riego de espacios verdes, por lo que se requiere conocer cuáles son las características del efluente de la planta depuradora, para lo cual es necesario evaluar las características y eficiencia de la planta.

Por otra parte, se requiere conocer la operabilidad de este tipo de plantas depuradoras, con el propósito de determinar su eficiencia, especialmente en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y coliformes fecales (C.F.), para conocer si la planta está funcionando correctamente y si el efluente cumple con criterios de calidad.

1.3. Objetivos.

Objetivo General:

Evaluar de forma preliminar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de las parroquias rurales Chaltura y Natabuela del cantón Antonio Ante de la provincia de Imbabura.

Objetivos Específicos:

- Resumir los aspectos técnicos más relevantes del tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas.
- Describir las características técnicas de la planta depuradora de las parroquias Chaltura y Natabuela, de la provincia de Imbabura.
- Determinar experimentalmente la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y coliformes fecales (C.F.) de las aguas residuales en el afluente y efluente de la planta depuradora.
- Evaluar la eficiencia de la planta depuradora en la remoción de DBO_5 y coliformes fecales (C.F.).

1.4. Metodología.

Para el desarrollo de esta disertación se seguirá la siguiente metodología:

- 1) En un inicio se realizará una recopilación de aspectos técnicos del tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales y plantas acuáticas.
- 2) Luego se realizará el plan experimental, que básicamente comprende lo siguiente:

- Verificación de las dimensiones de las unidades de tratamiento secundario.
 - Medición de caudal: se realizará en la entrada y salida de la planta de tratamiento, midiéndolo después de cada toma de muestras.
 - Medición de temperatura en sitio en el momento de la toma de muestras.
 - Toma de muestras para medición de los siguientes parámetros: DBO_5 y CF.
- 3) Se analizarán e interpretarán los resultados, para lo cual se compararán las mediciones obtenidas con estimaciones basadas en recomendaciones de la literatura técnica.
- 4) Se establecerán las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

CAPÍTULO II: INFORMACIÓN GENERAL

2.1 Información general del área de influencia.

2.1.1 Información general

El cantón Antonio Ante se encuentra en la provincia de Imbabura. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en el censo realizado en el año 2010, el cantón Antonio Ante tiene una población de 50.588 habitantes. La parroquia San Francisco de Natabuela tiene 6.793 habitantes, es decir, el 13,43% de la población total del cantón, mientras que la parroquia de San José de Chaltura tiene 3.370 habitantes, resultando en un porcentaje del 6,66% del total cantonal.

La parroquia rural San Francisco de Natabuela se encuentra ubicada a 2,5 Km de la ciudad de Ibarra, y se encuentra integrada por 7 barrios y una comunidad, dando una superficie total de 949,47 Ha, la cual corresponde al 11,98% de la superficie total del cantón. Los límites de esta parroquia son: al norte con la parroquia San José de Chaltura del cantón Antonio Ante, al oeste con la delimitación territorial de la cabecera cantonal de Antonio Ante, al este con la parroquia San Antonio del cantón Ibarra y al sur con el cantón Otavalo.

La parroquia Natabuela se encuentra compuesta por mestizos e indígenas, donde la población mestiza se encuentra comúnmente en el centro de la parroquia mientras que la población indígena se encuentra en las partes periféricas de la parroquia. Los pobladores de esta parte del cantón se dedican a la agricultura, construcción, artesanía, comercio informal, actividades domésticas y al turismo en pequeña escala (Municipal de Antonio Ante, 2015).

La parroquia San José de Chaltura está localizada a 5,8 Km de la capital provincial Ibarra, y se encuentra compuesta por 7 barrios (Central, El Carmen, El Incario, El Rosario, La Violeta, Loma de Ramírez y San Vicente) y 2 sectores (Santiago del Rey y La Merced de Cobuendo), ocupando una superficie de

1.689,13 ha, que representa el 21,31% con respecto a la superficie cantonal. Los límites de esta parroquia son: al norte el cantón San Miguel de Urcuquí, al oeste la parroquia urbana de Atuntaqui, al sur la parroquia rural de San Francisco de Natabuela y al este la parroquia rural de San Antonio del cantón Ibarra (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante, 2015).

La parroquia rural de Chaltura, al igual que las parroquias y ciudades aledañas ha progresado debido a que adicionalmente a la agricultura, tiene otras actividades económicas como la artesanal, agroindustrial, industrial, comercial y artística. En estos últimos años se ha visto un importante crecimiento en la actividad turística, pues atrae tanto a turistas nacionales como extranjeros. Adicionalmente, la parroquia de San José de Chaltura es muy conocida por su gastronomía debido a que existen varios locales dedicados a la preparación de los cuyes.

2.1.2 Ubicación de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales que atiende a las dos parroquias San Francisco de Natabuela y San José de Chaltura, se encuentra localizada en la parroquia rural de San José de Chaltura del cantón Antonio Ante. La planta se localiza en un terreno de 19.666,48 m² y se encuentra a una altitud promedio de 2.290 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). El mapa de ubicación de la planta de tratamiento y las coordenadas geográficas se indican en la figura No. 1.

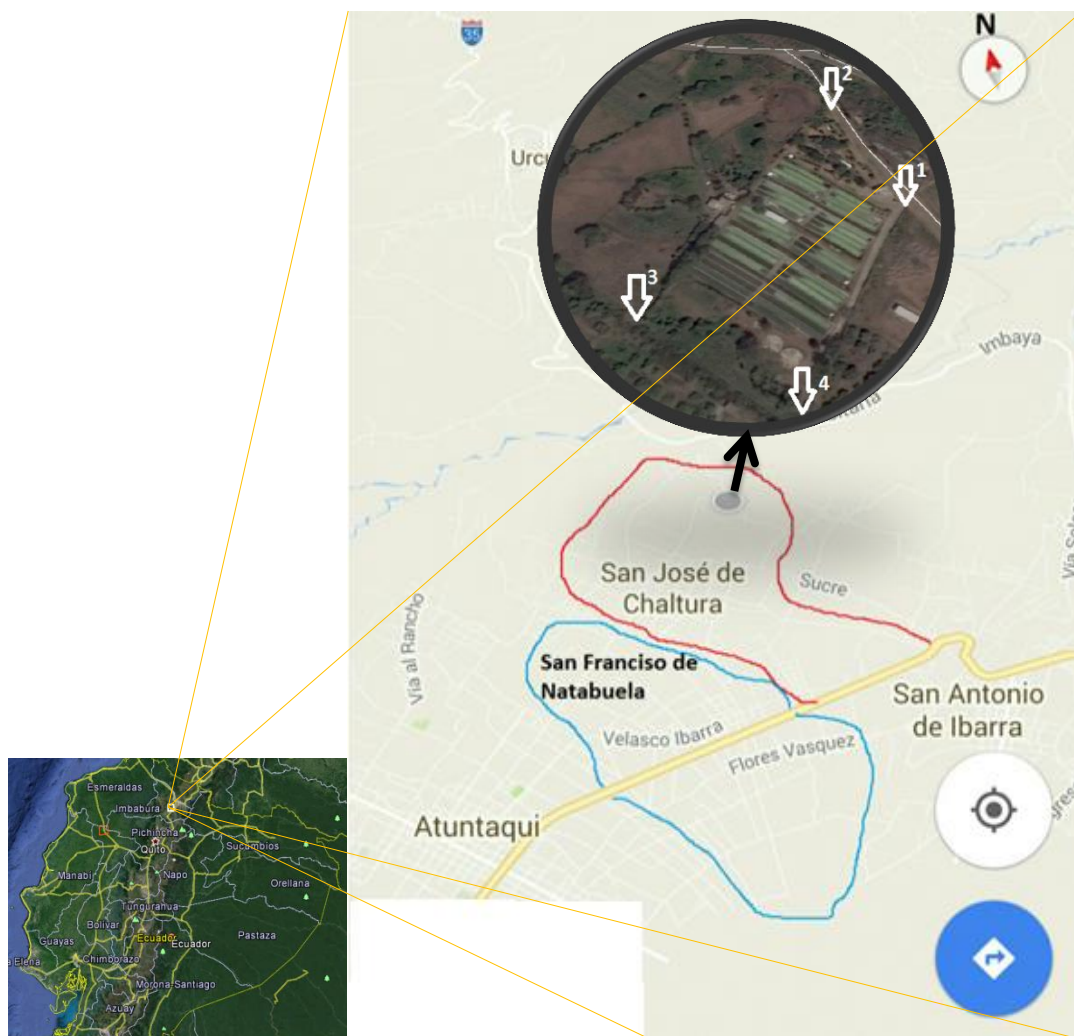


Figura 1: Mapa de la ubicación de la planta de tratamiento y de las parroquias de Chaltura y Natabuela.

Fuente: Google Maps, 15 de septiembre del 2016

PUNTO	LATITUD (N)	LONGITUD (W)
1	0° 21' 46"	78° 11' 13"
2	0° 21' 49"	78° 11' 15"
3	0° 21' 43"	78° 11' 17"
4	0° 21' 41"	78° 11' 14"

2.1.3 Características climáticas

En la parte alta de la parroquia de Chaltura se tiene clima templado, a una altitud desde los 2.200 hasta los 2.402 m.s.n.m, y clima cálido seco desde los 1.920 m.s.n.m. hasta los 2.200 m.s.n.m. En lo referente a la pluviosidad se tiene de 500 a 750 mm de precipitación media anual y una temperatura promedio anual de 15,7 °C en la parte alta, mientras que en la parte baja alcanza los 18 °C. El centro poblado de San José de Chaltura presenta un clima templado con una temperatura de 16 °C y una pluviosidad media anual de 750 mm (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante, 2015).

En la parroquia de San Francisco de Natabuela, el clima se presenta de la siguiente forma: clima frío en la parte alta de los páramos, los mismos que se encuentra a una altura desde los 3.060 hasta los 4.621 m.s.n.m., y clima templado desde los 2.360 hasta los 3.060 m.s.n.m.; la pluviosidad media anual se presenta en el rango entre los 650 a 1.000 mm, la temperatura media anual es de 8°C en la parte alta y 16°C en la parte baja. El centro poblado de Natabuela presenta clima templado con una temperatura media anual de 15°C y una pluviosidad media anual de 635 mm (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante, 2015)

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), la estación más cercana a la planta de tratamiento es la estación pluviométrica “Atuntaqui”, la cual solo registra datos de pluviosidad, es por ello que se optó por utilizar los datos registrados en la estación meteorológica “Ibarra”. Los datos entregados por el INAMHI son: en el año 2013, la temperatura media mensual del mes más frío fue 16,3°C y se registró en el mes de febrero, mientras que la temperatura media mensual del mes más caliente fue 17,4°C y se registró en el mes de septiembre; en el año 2014, la temperatura media mensual del más frío fue 16,4°C y se registró en los meses de febrero y diciembre, mientras que la temperatura media mensual del mes más caliente fue 17,6 y se registró en el mes de julio; para el año 2015, la temperatura media mensual del mes más frío fue 16,7°C y se registró en el mes de enero, mientras que la temperatura media mensual del mes más caliente fue 18,4°C y se registró en el mes de diciembre. (INAMHI, 2017).

2.2. Descripción del sistema de alcantarillado de Chaltura y Natabuela.

En lo referente al sistema de agua potable, según lo indicado por el Jefe del Departamento de Agua Potable, el cantón dispone de cuatro fuentes de agua: tres son vertientes y un pozo profundo. Las tres vertientes corresponden a San Juan Poglio con un aporte de 16 L/s, San Martha con 24 L/s y Perafán con 14 L/s, y el pozo profundo con 10 L/s.

Según la Jefatura de Agua Potable existe una línea de conducción de 17 L/s para Chaltura e Imbaya, de la cual a la parroquia Chaltura ingresa un caudal de 9 lt/s, mientras que para la parroquia de Natabuela existe una línea de conducción independiente con un caudal de 8 L/s. La cobertura de agua potable actualmente es del 97% en el cantón, 86% en la parroquia Chaltura y 98% en la parroquia Natabuela. Las longitudes aproximadas de red son 3,1 km para abastecer a Natabuela, mientras que para Chaltura es de 4,7 km.

En las parroquias rurales Chaltura y Natabuela, en los años anteriores al 2009 las aguas servidas no tenían tratamiento y para el año 2010 se tenía una cobertura de alcantarillado del 62,95% en el caso de San José de Chaltura y 85,74% en San Francisco de Natabuela (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante, 2015).

El sistema de alcantarillado de la parroquia San Francisco de Natabuela opera como combinado, fue construido en 1980 y consiste de tuberías de hormigón simple de diámetro 200 mm con una longitud de aproximadamente 30 km y su área de cobertura es aproximadamente 506,25 ha (Ver anexo No. 1, mapa No. 1). La totalidad de las aguas combinadas se descarga al sistema de alcantarillado de Chaltura, la descarga se realiza por medio de dos pozos de revisión ubicados dentro de la parroquia de Chaltura. (Ver anexo No. 1, mapa No. 2).

Según técnicos de alcantarillado de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Antonio Ante (EPAA-AA), por el momento todo el sistema de la parroquia de Natabuela se encuentra en funcionamiento, pero colapsa en época de invierno debido a la presencia de sumideros en el centro poblado de esta parroquia, lo que hace que se incremente el caudal por el agua pluvial que ingresa al alcantarillado,

excediendo la capacidad de este sistema. Además, el sistema ya cumplió su periodo de diseño. Los taponamientos constantes son los problemas operacionales más comunes que se presentan en época de invierno, debido a la acumulación de basura que ingresa por los sumideros. La cobertura para el año 2016 es alrededor del 89% de la cabecera parroquial.

El sistema de alcantarillado de la parroquia de San José de Chaltura fue construido en 1975 y transporta el agua combinada por medio de tuberías de hormigón simple de diámetro 300 mm, con una longitud de aproximadamente 19 km y su área de cobertura es aproximadamente de 287 ha (Ver anexo No. 1, mapa No. 2).

Según la EPAA-AA, el sistema de Chaltura se encuentra funcionando con normalidad aún en época de invierno, es decir que no se excede en capacidad a pesar del incremento de caudal por el agua pluvial. Los problemas operacionales son los taponamientos en las tuberías pero con menor frecuencia que en el sistema de Natabuela. Su cobertura para el año 2016 es alrededor del 70% de la cabecera parroquial.

Las aguas que se conducen por los sistemas de alcantarillado tanto de Chaltura como de Natabuela son combinadas, es decir que el agua residual doméstica se mezcla con el agua pluvial en época de invierno y/o con aguas de infiltración.

El sistema de alcantarillado de San Francisco de Natabuela descarga en el sistema de alcantarillado de San José de Chaltura en los pozos 1 y 2, lo que se puede observar en el esquema presentado en el anexo No. 2. El primer pozo se encuentra en la calle Obispo Mosquera y calle Gonzalo Guerrero, mientras que el segundo pozo se ubica en la calle Obispo Mosquera y calle S/N, lo cual se puede observar en el mapa como pozos 1 y 2, respectivamente (Ver anexo No. 1, mapa No. 3).

Adicionalmente, el sistema de alcantarillado de Chaltura tiene 4 descargas: la Violeta, planta de tratamiento de Chaltura y Natabuela, el Carmen y planta de tratamiento hacienda Cobuendo.

2.3 Descripción de la planta depuradora a evaluar

2.3.1 Descripción general.

En las parroquias de San José de Chaltura y San Francisco de Natabuela hasta 2009 no contaban con un tratamiento de las aguas residuales, debido a que las descargas de los sistemas de alcantarillado se realizaban directamente al río Ambi.

Entre 2008 y 2009 se construyó la planta de tratamiento de aguas residuales en la parte alta del barrio Incario de la parroquia de San José de Chaltura, para depurar las aguas residuales de las parroquias de Chaltura y Natabuela, para poder utilizar el efluente como agua de riego para los terrenos localizados aguas abajo de la descarga del efluente. Esta descarga se realiza a una acequia junto a la vía de ingreso a la planta de tratamiento, donde posteriormente se reparte a los diferentes terrenos aledaños a la planta depuradora.



Fotografía 1: Acequia que conduce aguas residuales tratadas.

La capacidad de la planta, prevista para el final del período de diseño (2028), es 10,53 L/s. En el año 2016 se encuentra operando con un caudal promedio de 10,30 L/s. (Álvarez, 2008).

El autor de los diseños de los componentes del pretratamiento de la planta de tratamiento de Chaltura y Natabuela es el Ing. Marcelo Álvarez (consultor) (2008).

2.3.2 Componentes.

La planta de tratamiento de aguas residuales se conforma de 3 procesos: pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario. Cada uno de estos procesos cumple una función específica, para que conforme avance el agua residual por los procesos se reduzca los contaminantes presentes.

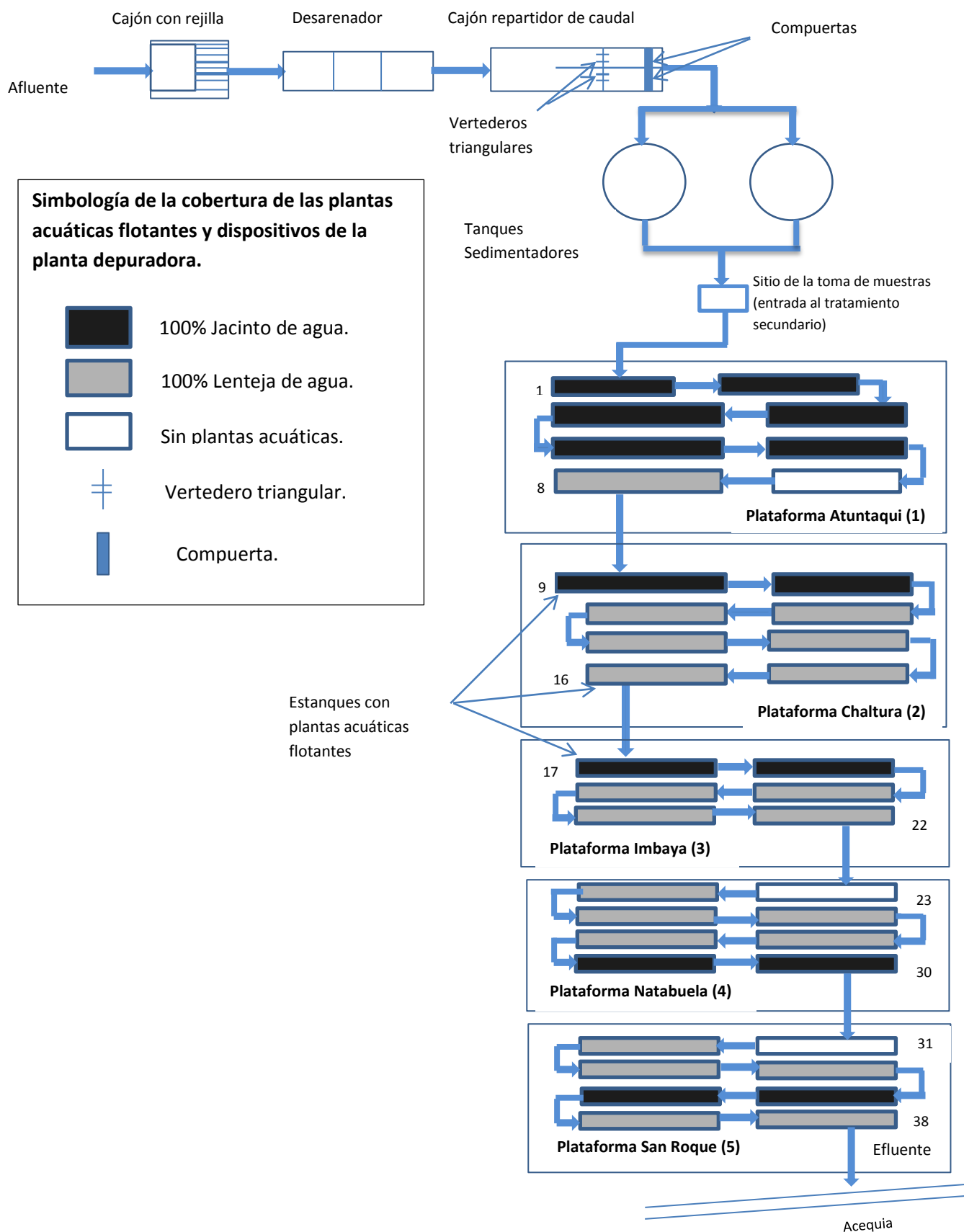


Figura 2: Esquema de la planta depuradora

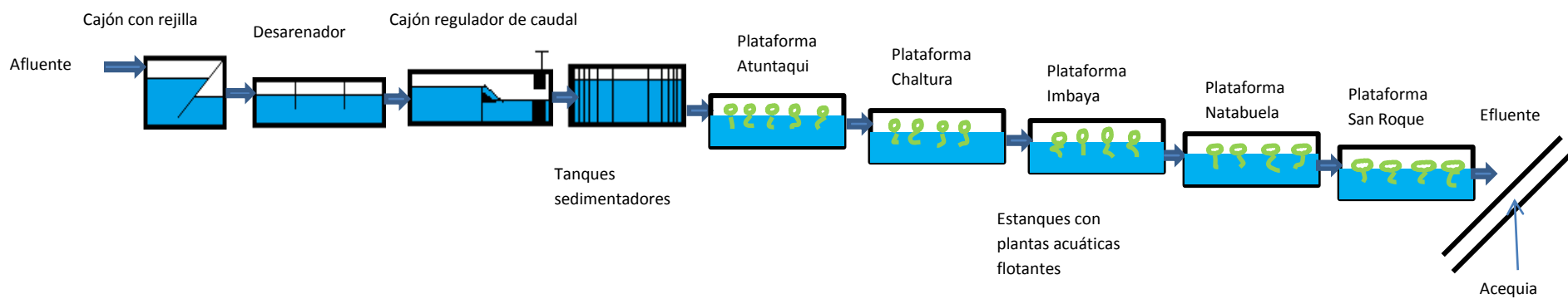


Figura 3: Esquema del perfil de la planta depuradora

2.3.2.1 Pretratamiento

El primer proceso al que se somete el agua residual es el pretratamiento, el mismo que se compone de un cajón con rejilla, un desarenador y un cajón repartidor de caudal.



Fotografía 2: Cajón con rejilla



Fotografía 3: Desarenador



Fotografía 4: Cajón regulador de caudal

a) Cajón con rejilla

A la entrada de la estación depuradora existe una tubería que descarga las aguas residuales a un cajón que contiene una rejilla de 1 m de base y 0,84 m de altura. En el diseño de la longitud de la rejilla se ha utilizado una velocidad de aproximación de 0,67 m/s.

La rejilla es inclinada con un ángulo de 45° con respecto a la horizontal, y con una separación libre entre las barras de 10 mm. Las barras son varillas circulares de diámetro 12 mm. El cajón que contiene tiene dimensiones de 2,4 m de largo y 2,2 m de ancho.



Fotografía 5: Rejilla de entrada.

La rejilla tiene como objetivo permitir que el tratamiento posterior se realice de forma eficaz, evitando que los objetos de gran tamaño circulen a través de las barras de la rejilla, es decir retiene los objetos mayores al espaciamiento entre las barras. (Romero, 1999)

b) Desarenador

En esta parte del pretratamiento, se realiza la remoción de arenas y sólidos suspendidos en el agua. El desarenador se localiza después del cajón con rejilla. El diseño del desarenador determina un volumen útil de $2,43 \text{ m}^3$.



Fotografía 6: Desarenador

El desarenador tiene las siguientes dimensiones según las mediciones realizadas en sitio: 3 m de longitud, 1,70 m de ancho y 1,60 m de profundidad. La velocidad de las partículas dentro del desarenador es alrededor de 0,07 m/s, para remover partículas mayores a 0,2 mm. (Álvarez, 2008). Los materiales utilizados en la construcción del desarenador son paredes y piso de hormigón armado y 2 pantallas de tol. El proceso de circulación del agua es por la parte inferior de las pantallas de tol, donde las partículas más pesadas empiezan a sedimentarse y las livianas flotan en la superficie para ser removidas de forma manual.

c) Cajón repartidor de caudal

El cajón repartidor de caudal consta de dos compuertas que permite regular y distribuir un caudal similar hacia los tanques sedimentadores del tratamiento primario.

Debido al tiempo de retención del agua residual, se producen depósitos de lodos en el fondo de esta caja repartidora de caudal, siendo necesario una limpieza

manual. En la salida de este cajón se encuentran dos vertederos triangulares cuya finalidad es medir el caudal que ingresa al tratamiento primario.



Fotografía 7: Cajón repartidor de caudal

Las dimensiones del cajón repartidor de caudal son 3,70 m de largo, 1,90 m de ancho y 1,20 m de profundidad. Este repartidor de caudal se compone de dos compartimentos con paredes y losa de piso de hormigón simple, además de 2 compuertas y vertederos triangulares de acero de pared delgada. El funcionamiento del repartidor de caudal es por medio de la regulación de compuertas en caso de existir un exceso de caudal, para evitar que el proceso posterior se sobrecargue y no cumpla su función correctamente; los vertederos poseen una regleta que permite medir la altura para conocer el caudal que ingresa a la siguiente etapa del tratamiento.

2.3.2.2 Tratamiento primario

Este tratamiento consta de 2 tanques sedimentadores en forma circular de hormigón armado, de 11,20 m de diámetro y 2,80 m de altura. Estos tanques actualmente están funcionando de forma normal y su función es remover los sólidos sedimentables. Adicionalmente, estos tanques disponen de una boca de visita de 60x60cm, además de un sumidero de 70x70cm que se conecta a una cámara de válvulas localizada en medio de los dos tanques sedimentadores.

2.3.2.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario se conforma por 38 estanques conectados en serie por medio de tubos PVC instalados en la parte inferior y superior de cada estanque; estos estanques se encuentran distribuidos en cinco plataformas. En las dos primeras plataformas, “Atuntaqui” y “Chaltura”, existe la presencia de mal olor con una intensidad moderada, pero conforme se avanza por las plataformas disminuye notablemente el olor.



Fotografía 8: Disposición de los estanques en la plataforma “Natabuela”.



Fotografía 9: Dispositivo en T (PVC) para salida del efluente de cada estanque.

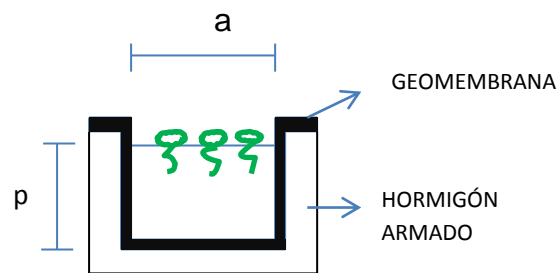


Figura 4: Esquema de las dimensiones de los estanques.

Dónde:

a = ancho del estanque (variable).

p = profundidad del agua (variable).

Los materiales utilizados en la construcción de las paredes y el piso de los estanques con plantas acuáticas son hormigón armado como se muestra y una geomembrana que cubre las paredes y el piso de los mismos como se muestra en la figura No. 4. Las dimensiones “ a ” y “ p ” de los estanques son variables, por lo que a continuación se presentará una tabla con las medidas de cada estanque y el nombre de la plataforma a la que pertenece. Estas dimensiones fueron medidas en campo.

Tabla 1: Cálculo de volúmenes parciales y volumen total de los estanques.

LARGO (m)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	VOLUMEN DE CADA ESTANQUE (m3)	# DE ESTANQUES	PLATAFORMA	VOLUMEN TOTAL (m3)
28,7	3,5	1,25	125,56	1	ATUNTAQUI	125,56
38,2	3,0	1,25	143,25	4	ATUNTAQUI	573,00
41,7	3,0	1,25	156,38	3	ATUNTAQUI	469,13
38,0	3,0	1,20	136,80	3	CHALTURA	410,40
38,0	2,1	1,20	95,76	1	CHALTURA	95,76
38,4	3,0	1,20	138,24	2	CHALTURA	276,48
36,0	3,0	1,20	129,60	1	CHALTURA	129,60
38,4	2,1	1,20	96,77	1	CHALTURA	96,77
36,0	3,0	1,20	129,60	3	IMBAYA	388,80
36,6	3,0	1,20	131,76	3	IMBAYA	395,28
34,2	3,0	1,15	117,99	3	NATABUELA	353,97
34,2	2,0	1,15	78,66	1	NATABUELA	78,66
37,1	3,0	1,15	128,00	3	NATABUELA	383,99
37,1	2,0	1,15	85,33	1	NATABUELA	85,33
36,5	2,9	1,35	142,90	1	SAN ROQUE	142,90
34,9	2,9	1,35	136,63	1	SAN ROQUE	136,63
26,4	2,9	1,35	103,36	2	SAN ROQUE	206,71
35,0	2,9	1,35	137,03	4	SAN ROQUE	548,10
TOTAL			2213,60	38		4897,06

El tratamiento biológico en los 38 estanques se produce por plantas acuáticas flotantes; no se trata de humedales artificiales debido a que no tiene suelo ni plantas enraizadas en el fondo, por lo tanto, la planta depuradora no cumple con estas características. Los 38 estanques contienen plantas acuáticas conocidas como lenteja de agua (*Lemna minor*) y lechuguines o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), las mismas que son encargadas de la oxidación de la materia orgánica para reducir los niveles de DBO_5 .

Al final del tratamiento secundario existe una rejilla que evita el paso de las plantas acuáticas flotantes al canal rectangular donde se descarga el efluente del último estanque.



Fotografía 10: Descarga del efluente del último estanque.

La cosecha de las plantas acuáticas se realiza de forma manual cada 15 días por parte de los beneficiarios del efluente de la planta depuradora.



Fotografía 11: Cosecha de la planta acuática flotante (Jacinto de agua)

Estas plantas son utilizadas por pocas personas como abono; este proceso se lo realiza mezclando los dos tipos de plantas una vez que se encuentran secas y descompuestas. El proceso de secado y descomposición se produce en el área llamada “lecho de secado”.







Fotografía 12: En la parte derecha se observa el “lecho de secado”.

Uno de los datos a tomar en cuenta dentro del tratamiento secundario con plantas acuáticas flotantes es el porcentaje de cobertura vegetal existente en cada

estanque. De los 38 estanques, 14 tienen jacinto de agua con una cobertura de la superficie del agua del 100%, 21 tienen lenteja de agua con una cobertura del 100%, y 3 carecen de plantas acuáticas flotantes.

Es importante conocer que en el año 2014 se realizaron análisis de aguas por parte de la EPAA-AA con la colaboración de un docente de la Universidad de Sapiencia, Transilvania, Rumania, donde se obtuvieron los datos de calidad del agua residual que se presentan en la tabla 2.

Tabla 2: Resultados obtenidos del análisis de aguas realizado por EPAA-AA con la colaboración del docente de la Universidad de Sapiencia

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I													
<div><div></div><div><div>LABORATORIO CONTROL DE LA CALIDAD</div><div>Planta de Tratamiento de Agua Potable Av. Atahualpa Tf: 2650-912</div></div><div><div></div><div><div>Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San Miguel de Ibarra</div></div></div></div>													
MUESTRAS PTAR ATUNTAQUI- 16/06/14													
Parámetros			DQO	DBO5	pH +	Turbiedad	NH4 CURVA	PO4	PT	N-NO3	SO4	Sólidos suspendidos Totales	Sólidos suspendidos volátiles
Unidades			mg/L	mg/L		NTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Límites permisibles			100	250	5 a 9	N/A	-	-	-	-	-	100	-
No	Muestra	Fecha											
8A	Entrada	16/06/2014	554	300	7,53	254	115,2	13,4	4,3697	3,4	112	224	166
4A	Antes Lagunas	16/06/2014	224,0	140,0	7,41	208,0	162,8	22,4	7,3046	5,6	34,0	284,3	142,86
3A	Efluente	16/06/2014	52,0	40,00	7,69	42,6	131,20	28,80	9,39	0,80	40	9	6,25

Fuente: (EPAA-AA, 2014)

CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LITERATURA TÉCNICA.

3.1 Aspectos generales sobre aguas residuales.

3.1.1 Definición.

El agua residual es esencialmente el resultado del suministro de agua de la comunidad después de haber sido utilizada, que contiene componentes que la hacen inadecuada para la mayoría de los usos, sin tratamiento (Metcalf & Eddy, 2004).

Debido a las características del agua residual, no puede ser reutilizada directamente para consumo humano, a menos que se someta a un tratamiento adecuado. El agua residual contiene nutrientes, que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas. Estas plantas pueden ayudar a bajar los valores de varios parámetros, de modo que al momento de descargar las aguas residuales a los cuerpos receptores (ríos, lagos, mares, etc.) no causen mayor impacto ambiental, ni tampoco afecten a la salud humana en el caso de riego de cultivos.

3.1.2 Tipos.

Las aguas residuales según su origen se clasifican en domésticas e industriales.

3.1.2.1 Aguas residuales domésticas.

Son aguas residuales descargadas de residencias, inmuebles comerciales, instituciones e instalaciones públicas (Metcalf & Eddy, 2004).

El agua residual que proviene de este tipo de inmuebles está compuesta básicamente por desechos humanos que llegan a la red de alcantarillado por medio de la acometida domiciliaria.

3.1.2.2 Aguas residuales industriales.

Son aguas residuales en las que predominan los residuos industriales. (Metcalf & Eddy, 2004). En este caso, el agua residual proviene de industrias o sitios donde se elaboren diferentes tipos de productos industriales. Generalmente, el agua residual industrial requiere tratamiento, previo a ser descargado a la red de alcantarillado.

3.1.2.3 Aguas de infiltración.

Es el agua que ingresa al sistema de alcantarillado a través de medios directos e indirectos. La infiltración es el agua no prevista que ingresa en el sistema de alcantarillado a través de juntas entre tuberías, grietas y roturas. (Metcalf & Eddy, 2004).

3.1.2.4 Aguas pluviales que ingresan al sistema de alcantarillado.

Son aguas pluviales que ingresan a la red de alcantarillado por medio de los sumideros presentes en las vías públicas de las ciudades o pueblos, y descargas de aguas lluvias de las viviendas. Cuando las aguas pluviales son admitidas en el sistema de alcantarillado se conocen como aguas lluvias ilícitas o conexiones erradas de aguas lluvias.

3.1.3 Composición

Es importante tener en cuenta la composición de las aguas residuales al momento de realizar la evaluación de una planta de tratamiento, es decir conocer cómo está compuesta el agua residual para saber si el tipo de tratamiento al cual está siendo sometido es el correcto para obtener el agua tratada con los niveles adecuados para su uso.

El agua residual contiene sólidos flotantes y sólidos en suspensión (como heces, trapos, envases de plástico, mazorcas de maíz, etc.), sólidos suspendidos más pequeños (como heces parcialmente disgregadas, papel, hojas de vegetales, etc.) y muy pequeños sólidos en estado coloidal. Adicionalmente el agua residual también se compone de ciertos químicos, tales como detergentes, grasa de varias

clases, jabones, etc., los cuales son evacuados por medio de fregaderos de cocina. Entre otros productos que se pueden encontrar en las aguas residuales son leche, gaseosas, partículas de suelo (derivado de la preparación de verduras), etc. (Mara, 2003).

Los componentes principales de las heces y orina sirven como alimento para las bacterias. Estos organismos no son visibles pero su labor es primordial en los tratamientos microbiológicos para descontaminar el agua residual. También es importante conocer que las heces contienen millones de bacterias intestinales, sin embargo la mayoría de ellas no producen daños en la salud humana, aunque una minoría si puede causar graves enfermedades a las personas. (Mara, 2003).

En la siguiente figura se muestra la composición de las aguas residuales:

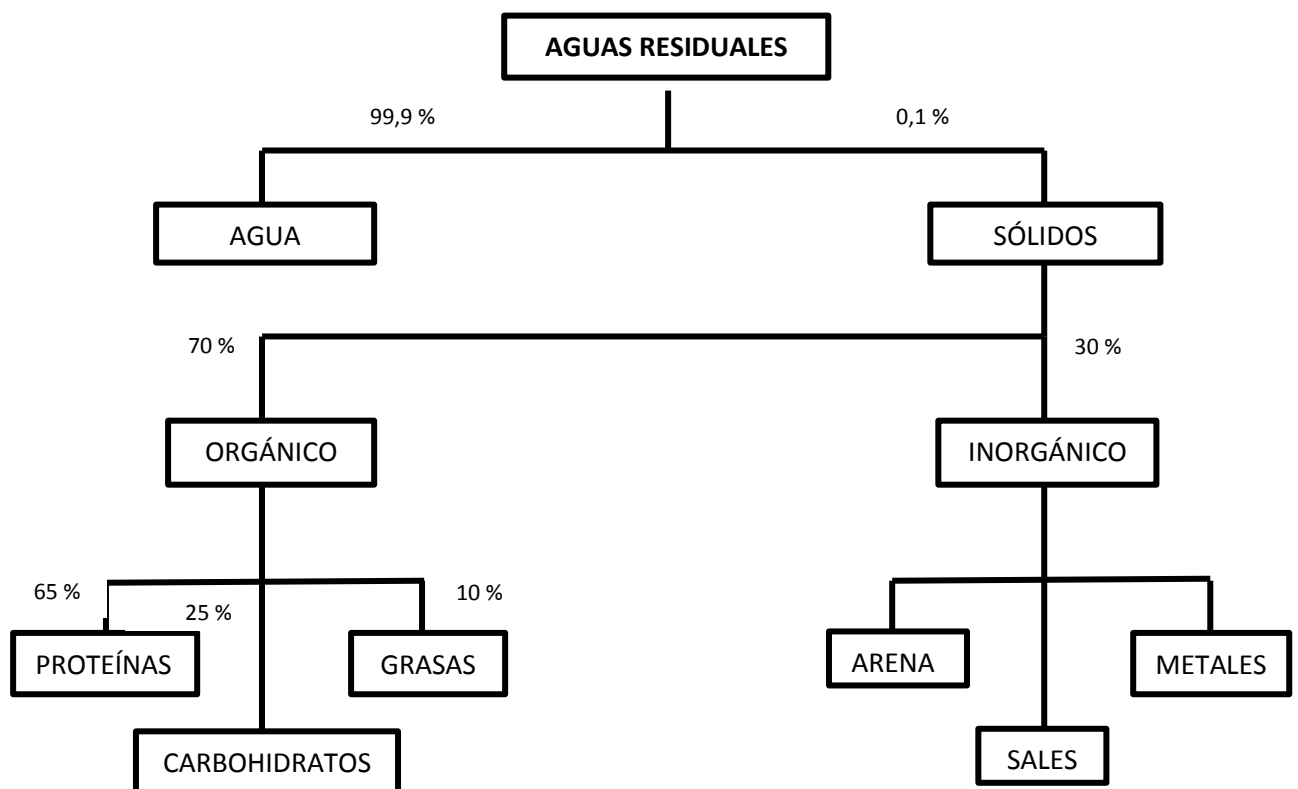


Figura 5: Composición de las aguas residuales

Fuente: (Mara, 2003).

En la caracterización de las aguas residuales se pueden identificar tres tipos de parámetros: físicos, químicos y biológicos.

3.1.3.1 Parámetros físicos

a) Temperatura

La temperatura de las aguas residuales suele ser mayor que la del suministro de agua potable, debido a la adición de agua caliente de los hogares y las actividades industriales. La temperatura es un parámetro muy importante debido a su efecto sobre las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la idoneidad del agua para usos beneficiosos. Además, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. (Metcalf & Eddy, 2004)

b) Sólidos totales

Los sólidos totales son el residuo que queda después de que la muestra de aguas residuales se haya evaporado y secado a una temperatura específica (103 a 105°C). Los sólidos totales se expresan en mg/L. (Metcalf & Eddy, 2004)

c) Turbiedad

La turbiedad es una medida de las propiedades de dispersión de luz de una solución que contiene partículas suspendidas y coloidales. Las mediciones de la turbiedad requieren una fuente de luz (incandescente o diodo emisor de luz) y un sensor para medir la luz dispersa. La turbiedad medida aumenta a medida que aumenta la intensidad de la luz dispersada. La turbiedad se expresa en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). (Metcalf & Eddy, 2004)

3.1.3.2 Parámetros químicos

a) Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de microorganismos aeróbicos, así como para todas las demás formas de vida aeróbica. La cantidad de O₂ (y otros gases también) que puede estar presente en una solución está gobernada por: (1) la solubilidad del gas, (2) la presión parcial del gas en la

atmósfera, (3) la temperatura y (4) la concentración de las impurezas en el agua (salinidad, sólidos en suspensión). (Metcalf & Eddy, 2004)

Debido a que la tasa de reacciones bioquímicas que usan O_2 aumenta con el aumento de la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser críticos en los meses de verano. La presencia de OD en aguas residuales es esencial porque impide la formación de olores nocivos. (Metcalf & Eddy, 2004)

b) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El parámetro más ampliamente utilizado de la contaminación orgánica aplicada tanto a las aguas residuales como a las aguas superficiales es la DBO. Esta determinación implica la medición del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Se expresa en mg/L. (Metcalf & Eddy, 2004).

Este parámetro es un indicador de la cantidad de materia orgánica existente en el agua, es decir que entre mayor sea la presencia de materia orgánica mayor es la DBO. En cuanto a la obtención de este parámetro se lo realiza de forma estandarizada en el laboratorio a los 5 días de incubación a una temperatura de 20°C.

En el caso de las aguas residuales, se emplean los resultados de la prueba de DBO para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, para determinar el tamaño de las instalaciones de tratamiento de desechos, para evaluar la eficiencia de algunos procesos de tratamiento, y para determinar el cumplimiento de los estándares de descarga de aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 2004)

c) Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por un agente oxidante químico bajo condiciones controladas. La DQO es mayor que la DBO, ya que el agente oxidante químico a menudo oxidará más compuestos que los microorganismos. Se expresa en mg/L (Rozkošný, Křiška, Šálek, Bodík, & Istenič, 2014). Este parámetro a menudo es utilizado como un sustituto de la prueba de DBO.

d) Detergentes

Los detergentes también conocidos como agentes tensoactivos o agentes superficiales activos, se catalogan como compuestos estructurados por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceite, que tienen como característica principal reducir la tensión superficial de los líquidos en la que se encuentran disueltos. (Romero, 1999)

En las aguas residuales domésticas existe la presencia de este tipo de sustancias lo que hace que aparezca la formación de espuma.

3.1.3.3 Parámetros biológicos

Los parámetros biológicos de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades por organismos patógenos de origen humano y debido al papel desempeñado por las bacterias y otros microorganismos en la descomposición y estabilización de la materia orgánica y la transformación de compuestos inorgánicos, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento de aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 2004)

Los microorganismos que se encuentran en aguas residuales no tratadas incluyen bacterias, hongos, algas, protozoos, helmintos, virus y otras plantas y animales microscópicos. La fuente principal de estos organismos proviene de residuos humanos. Se necesita información sobre el tipo de microorganismos, para determinar el tipo de tratamiento que se requerirá para tratarlos o eliminarlos. (Metcalf & Eddy, 2004)

En este caso se mencionará dos microorganismos pertenecientes al grupo de bacterias como son: coliformes totales y fecales.

a) Coliformes totales

El grupo de bacterias coliformes se encuentra comúnmente en el medio ambiente (en el suelo o en la vegetación) y en los intestinos y heces de humanos y animales de sangre caliente. En general, las bacterias coliformes son inofensivas. Cuando se detectan coliformes totales en el agua potable, su presencia se toma

como una indicación de que otros patógenos también podrían estar presentes. (Metcalf & Eddy, 2004)

Los coliformes totales se dividen en cuatro géneros en la familia *Enterobacteriaceae*: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. Dentro de los grupos de coliformes se utiliza como indicadores bacterianos a los siguientes tipos: coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* (Metcalf & Eddy, 2004)

b) Coliformes fecales

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales; se encuentran en grandes cantidades en los intestinos y heces de humanos y animales de sangre caliente. La presencia de coliformes fecales en el agua potable se toma como una indicación de que existe un riesgo mayor, en comparación con la presencia de coliformes totales, de que también podrían estar presentes patógenos causantes de enfermedades. (Metcalf & Eddy, 2004)

Dentro de los coliformes fecales se encuentra el *E. coli*. Este organismo es un habitante común del tracto intestinal de animales de sangre caliente, y su presencia en muestras de agua es un indicador de contaminación fecal y la posible presencia de patógenos entéricos (EPA, 2010)

El grupo de coliformes son indicadores adecuados para la presencia potencial de bacterias y virus patógenos, pero no son suficientes como indicador de la presencia de protozoarios en el agua residual. Debido a estas limitaciones, en la actualidad existe el uso de bacteriófagos como indicadores de virus entéricos. Los bacteriófagos que infectan a cepas masculinas de *E. coli* se conocen como colifagos específicos masculinos (Metcalf & Eddy, 2004)

Dentro de la familia específica masculina hay cuatro serotipos. Los grupos II y III son principalmente de origen humano, mientras que los grupos I y IV son de origen animal. El interés en el uso de colifagos como indicador de enterovirus se basa en el hecho de que los bacteriófagos son aproximadamente del mismo tamaño que la mayoría de los virus entéricos; además estas bacterias son de origen fecal y siempre están presentes en aguas residuales municipales crudas (Metcalf & Eddy, 2004)

c) Helmintos

El término helminto se utiliza para describir colectivamente los parásitos. La mayoría de los helmintos se clasifican en tres tipos principales: Nemátodos (gusanos redondos), Platyhelminths (gusanos planos), y Annelida (gusanos segmentados). La mayoría de las infecciones humanas se asocian con nemátodos y gusanos planos. (Metcalf & Eddy, 2004)

La fase infecciosa humana con los helmintos varía; en algunos casos es el organismo adulto o las larvas, mientras que en otros casos son los huevos, pero principalmente son los huevos que están presentes en las aguas residuales. Los huevos de helmintos varían en tamaño desde aproximadamente 10 μm hasta más de 100 μm , estos pueden ser eliminados mediante muchos procesos de tratamiento de aguas residuales de uso común tales como sedimentación, filtración y estanques de estabilización. Sin embargo, algunos huevos de helmintos son muy resistentes y pueden sobrevivir a los procedimientos habituales de desinfección de aguas residuales (Metcalf & Eddy, 2004)

3.2 Tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales y plantas acuáticas.

3.2.1 Humedales artificiales

3.2.1.1 Definición

Los humedales artificiales son unidades de tratamiento secundario; deben ser precedidos por una fosa séptica o un estanque anaeróbico para eliminar los sólidos que de otro modo obstruirían el lecho de grava del humedal. (Mara, 2003)

Los humedales se consideran importantes para el tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad característica para absorber grandes cantidades de nutrientes orgánicos e inorgánicos, así como una variedad de sustancias tóxicas. (Zimmels, Kirzhner, & Roitman, 2004)

3.2.1.2 Componentes

Los humedales se componen de cuatro elementos importantes que son:

- Agua: el agua es el principal componente del humedal, y sirve como soporte para que se desarrollen los procesos biológicos.
- Suelo: el humedal está compuesto por un medio impermeable, que puede estar constituido por un lecho de grava, suelo u otro medio, cuya función es ser un filtro biológico que contiene gran cantidad de microorganismos en las capas superiores (Crites & Tchobanoglous, 2000)
- Plantas: son un componente importante dentro del humedal, ya que cumple diferentes funciones para que se realice la descontaminación del agua residual. Una de éstas es reducir la velocidad de circulación del agua y así lograr que los sólidos suspendidos se puedan sedimentar. (Hincapié, 2007)
- Organismos: esto se refiere a los microorganismos que se encuentran en la parte superficial del suelo, siendo los grandes responsables de remover la DBO en el agua residual.

3.2.1.3 Tipos

Los humedales artificiales se clasifican según la posición del nivel del agua en: humedales de flujo superficial o superficie libre de agua y humedales de flujo subsuperficial.

a) Humedales de flujo superficial o superficie libre de agua (FWS)

El sistema de flujo superficial consiste normalmente en estanques o canales, con una barrera subsuperficial natural o construida de arcilla o material geotécnico impermeable para prevenir la filtración, el suelo u otro medio adecuado para soportar la vegetación emergente, y el agua a una profundidad relativamente superficial que fluye sobre la superficie del suelo. El nivel del agua es poco profundo, la baja velocidad de flujo y la presencia de los tallos de la planta regulan el flujo de agua y, especialmente en estanques largos y estrechos, aseguran

condiciones de flujo ideal, es decir sin ninguna mezcla de partículas del fluido. (EPA, 1988).

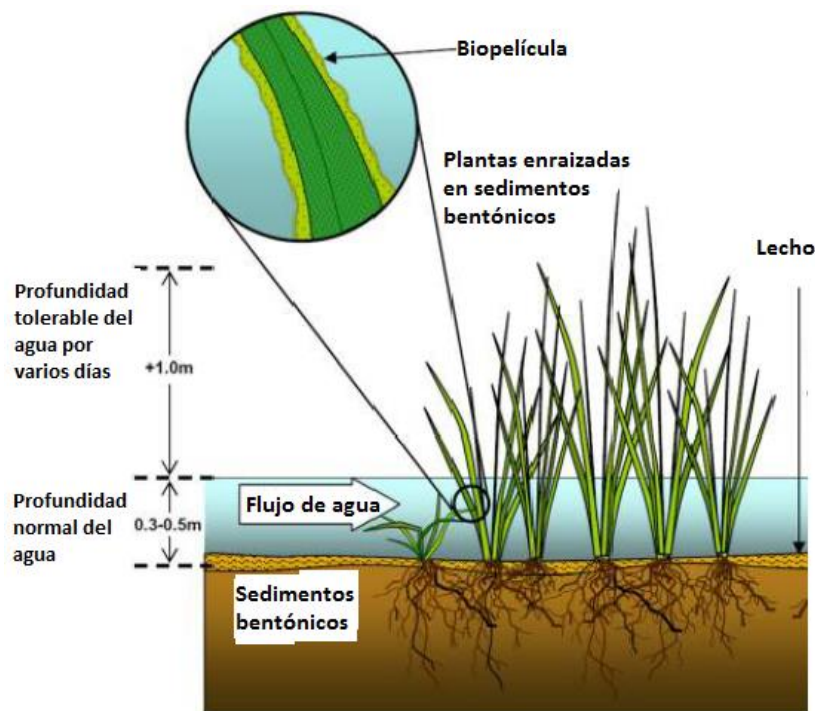


Figura 6: Esquema de humedales artificiales de flujo superficial.

Fuente: (Miloš Rozkošný, M. K., 2014).

Las ventajas que presenta el humedal de flujo superficial son las siguientes: menos costo de construcción y operación y son más fáciles de diseñar que los humedales de flujo subsuperficial y métodos convencionales de tratamiento, puede usarse para aguas residuales con mayor contenido de sólidos suspendidos, ofrece un mayor control de flujo que los humedales de flujo subsuperficial. Las desventajas son: bajas tasas de eliminación de contaminantes por unidad de terreno que los humedales de flujo subsuperficial, por lo que requieren más terreno para lograr un nivel particular de tratamiento que los humedales de flujo subsuperficial, requiere más terreno que los métodos convencionales de tratamiento, riesgo de exposición ecológica o humana a las aguas residuales que fluyen a la superficie, puede ser más lento que el tratamiento convencional y el olor y los insectos pueden ser un problema debido a la superficie libre del agua. (Dordio, Carvalho, & Pinto, 2008).

b) Humedales de flujo subsuperficial (SSF)

Es un humedal construido que consiste en una fosa o una cama subyacente con una capa impermeable de arcilla o revestimiento sintético. La cama contiene medios que apoyan el crecimiento de la vegetación emergente. El sistema está construido con una ligera inclinación (1 al 3%) entre la entrada y la salida. (EPA, 1988)

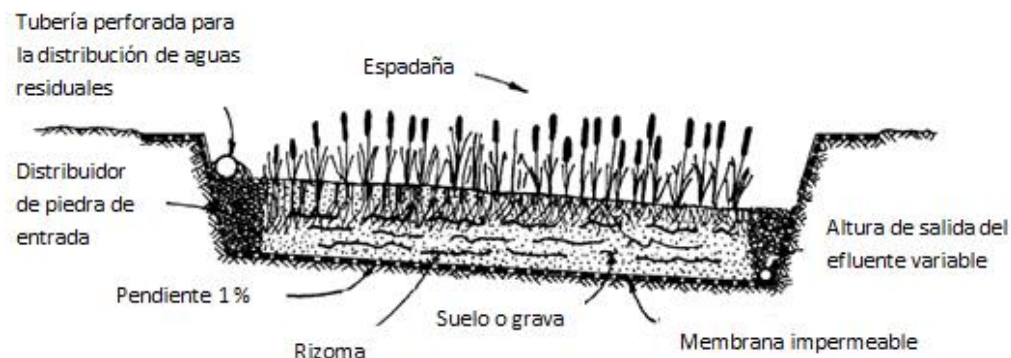


Figura 7: Humedal de flujo subsuperficial

Fuente: (EPA, 1988)

Este tipo de humedal posee ventajas, como son: menores costos que los sistemas de tratamiento convencionales, funcionamiento menos costoso que los sistemas FWS, más accesible para el mantenimiento porque no hay agua estancada, los olores y los insectos no son un problema porque el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio, proporciona hábitat para plantas y vida silvestre y riesgo ecológico mínimo debido a la ausencia de una vía de exposición. El humedal SSF tiene también desventajas: requiere más tierra que los métodos convencionales de tratamiento, puede ser más lento proporcionar tratamiento que en el tratamiento convencional y la construcción es más costosa que los humedales FWS (Dordio, Carvalho, & Pinto, 2008).

3.2.1.4 Funcionamiento

Los humedales son capaces de proporcionar una eliminación física altamente eficiente de contaminantes asociados con partículas en el agua residual a través

de sedimentación y filtración. Los procesos físicos de eliminación de contaminantes en los sistemas de humedales se producen principalmente debido a la presencia de biomasa vegetal y, en el caso de los humedales de SSF, también al sustrato. La sedimentación de sólidos en suspensión es favorecida por la baja velocidad de flujo y por el hecho de que el flujo es a menudo laminar en los humedales. El flujo de las aguas residuales es retardado en un humedal debido a la resistencia al flujo proporcionado por la vegetación, lo que aumenta la sedimentación de sólidos suspendidos. (Dordio, Carvalho, & Pinto, 2008).

Los procesos de remoción química más importantes en los suelos de los humedales son la adsorción y la precipitación. Estos procesos químicos se producen en las superficies de las plantas (raíces y sustrato), lo que resulta en una retención a corto plazo o la inmovilización a largo plazo de los contaminantes. (Dordio, Carvalho, & Pinto, 2008).

Los humedales son sistemas biológicos en los que los procesos biológicos desempeñan un papel importante en la eliminación de contaminantes. Probablemente el proceso biológico más ampliamente conocido para la remoción de contaminantes inorgánicos en los humedales es la captación de las plantas. Los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales de las plantas, como el nitrato, el amonio y el fosfato, son absorbidos fácilmente por las plantas de los humedales. Sin embargo, muchas especies de plantas de humedales también son capaces de absorción e incluso de acumulación significativa de ciertos metales tóxicos como el cadmio y el plomo. La tasa de eliminación de contaminantes por las plantas varía ampliamente, dependiendo de la tasa de crecimiento de la planta y la concentración del contaminante en el tejido vegetal. (Dordio, Carvalho, & Pinto, 2008).

En la figura No. 8 se observa los principales procesos que se realizan en un humedal para la depuración de las aguas residuales.

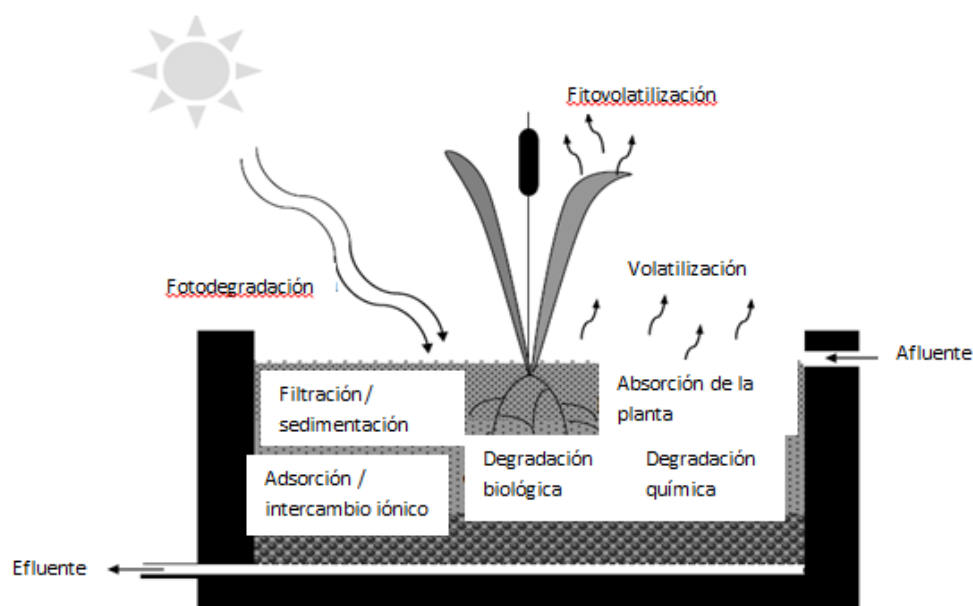


Figura 8: Procesos de los humedales artificiales

Fuente: (Dordio, Carvalho, & Pinto, 2008)

3.2.1.5 Eficiencia

La eficiencia de eliminación de materia orgánica soluble en humedales es generalmente alta, usualmente excediendo el 80%, pero la eficiencia del tratamiento de materia orgánica muestra alguna variación según el tipo de humedal artificial. Estas diferencias revelan la dependencia de varios parámetros de diseño y funcionamiento, incluyendo el tipo de humedal / vegetación / sustrato, las velocidades de carga hidráulica y de masa, el régimen de flujo, el tiempo de residencia hidráulico y la tasa de desintegración de la DBO, que a su vez es función de la temperatura. (Dordio, Carvalho, & Pinto, 2008).

La eficacia de remoción de bacterias fecales reportadas en humedales por lo general excede el 85%, y es generalmente más alta para coliformes fecales y algo menor para los estreptococos fecales. Sin embargo, debe observarse que, a pesar de las altas eficiencias de remoción, si el número de bacterias en la entrada es muy grande, en el flujo de salida el número de bacterias puede ser todavía demasiado alto para cumplir con los criterios de calidad de las aguas residuales. La eficacia de remoción de patógenos muestra cierta variación según el tipo de humedal y las eficiencias observadas pueden en la mayoría de los casos ser

mayores en: humedales SSF que en humedales FWS. Estas diferencias pueden estar relacionadas con la mayor área de contacto entre el agua, las bacterias y el sustrato, que es mucho más grande en los humedales construidos con SSF en comparación con el FWS (Dordio, Carvalho, & Pinto, 2008).

3.2.2 Tratamiento con plantas acuáticas

3.2.2.1 Definición

Es un sistema de tratamiento que también se le conoce con el nombre de sistema de plantas flotantes. Son estanques de poca profundidad, aptos para el cultivo de plantas acuáticas flotantes o sumergidas. En la mayoría de los casos, los sistemas más estudiados son los sistemas de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor*), los mismos que juegan un papel fundamental para eliminar los contaminantes del agua residual por medio de sus raíces; además tienen una función importante de evitar el paso de la luz solar hacia el fondo del estanque y así impedir el crecimiento de algas. (EPA, 1988).

En la clasificación del tratamiento con plantas acuáticas tenemos: el primer tipo utiliza plantas flotantes y se caracteriza porque las plantas satisfacen sus necesidades de dióxido de carbono y de oxígeno de la atmósfera directamente, mientras que los nutrientes minerales los reciben del agua; el segundo tipo de sistema consiste en plantas sumergidas y se distingue por la capacidad de estas plantas para absorber oxígeno, dióxido de carbono, y los minerales del agua. (EPA, 1988).

3.2.2.2 Tipos de plantas acuáticas

Es necesario conocer las características de las plantas acuáticas utilizadas dentro de este tipo de tratamiento, ya que tienen un papel importante para reducir la concentración de contaminantes y además son un soporte para los microorganismos.

a) Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

El jacinto de agua es una planta acuática flotante que también se le conoce con el nombre de lirio de agua o lechuguín, este tipo de planta comúnmente se usa en un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales avanzado y también para mejorar la calidad del agua en los efluentes de lagunas de oxidación. (EPA, 1988).

El crecimiento del jacinto de agua está influenciado por la eficiencia de la planta para aprovechar la energía solar, la composición de nutrientes del agua, los métodos de cultivo y los factores ambientales. (EPA, 1988).

Una de las características principales del jacinto de agua son las extensas raíces que posee, siendo este el lugar de soporte de los microorganismos biológicos que ayudan a la depuración, además de ser un medio filtrante y absorbente de los contaminantes presentes en el agua residual.



Figura 9: Jacinto de agua
Fuente: (CONABIO, 2012) (p. 1)

Para el crecimiento y reproducción de esta planta tanto la temperatura del aire como la del agua son importantes; es así que esta vegetación puede sobrevivir a la exposición de 24 horas a temperaturas de 0,5 a -5°C pero mueren a temperaturas de - 6 a -7°C y no puede establecerse en regiones donde las temperaturas invernales promedio son 1°C. El crecimiento es rápido de 20 a 30°C y casi se detiene a temperaturas de 8 a 15°C (EPA, 1988).

La principal desventaja que limita su utilización es su sensibilidad a la temperatura, es decir que no soporta bajas temperaturas o heladas que pueden presentarse en ciertas épocas del año, haciendo que mueran rápidamente. La composición de este tipo de plantas se indica a continuación.

Tabla 3: Composición del Jacinto de aguas residuales

Constituyente	% de la masa seca	
	Promedio	Intervalo
Proteína cruda	18,1	9,7 – 23,4
Grasa	1,9	1,6 – 2,2
Fibra	18,6	17,1 – 19,5
Cenizas	16,6	11,1 – 20,4
Carbohidratos	44,8	36,9 – 51,6
NTK	2,9	1,6 – 3,7
Fósforo	0,6	0,3 – 0,9

Fuente: (Romero, 1999)(p. 887)

Los jacintos de agua son plantas acuáticas que poseen hojas verdes redondeadas, verticales y brillantes. Los peciolo de la planta son esponjosos con muchos espacios de aire y contribuyen a la flotabilidad de la planta de jacinto. Cuando se cultivan en aguas residuales, las plantas individuales varían de 0,5 a 1,2 m (20 a 47 pulgadas) desde la parte superior de la flor hasta las puntas de las raíces. Las plantas se extienden lateralmente hasta que la superficie del agua se cubre y luego el crecimiento vertical aumenta. Los jacintos son plantas fotosintéticas muy productivas. (EPA, 1988). La morfología se indica en la imagen a continuación.

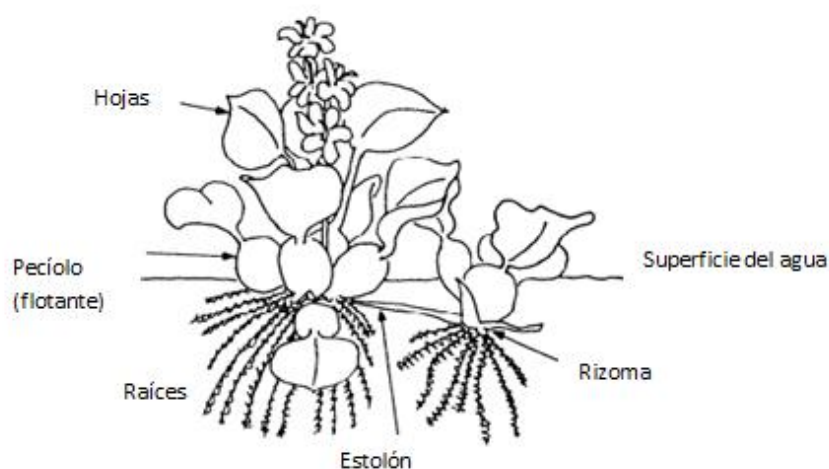


Figura 10: Morfología del Jacinto de agua

Fuente: (EPA, 1988)

b) Lenteja de agua (*Lemna minor*).

La lenteja de agua es una planta acuática flotante que posee pequeñas raíces, es decir, la planta se encuentra flotando en el agua y forma una capa encima del espejo de agua.

El tratamiento que emplea estas plantas permite la remoción de metales del agua residual, además de otros contaminantes que necesitan ser removidos para poder ser utilizado en el riego de cultivos.

La principal ventaja de las lentejas de agua es su menor sensibilidad a los climas fríos, mientras que sus principales inconvenientes han sido sus sistemas de raíces poco profundas y la sensibilidad al viento. (EPA, 1988).

El uso de estas plantas permite reducir los contaminantes del agua residual y evita el paso de luz solar hacia el fondo de los estanques, siendo esto favorable para controlar el crecimiento de algas.

La lenteja de agua tiene pequeñas hojas y raíces no muy largas (usualmente miden menos de 10 mm de longitud). La morfología se indica a continuación. (EPA, 1988).

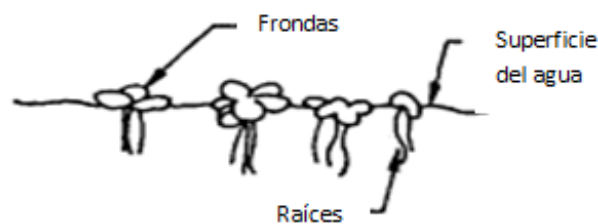


Figura 11: Morfología de la lenteja de agua

Fuente: (EPA, 1988)

c) Espadaña (*Typha sp.*)

Es una planta acuática emergente que se emplea en los sistemas de tratamiento acuáticos, donde su principal característica es tener raíces largas que llegan al suelo, mientras que una parte de su tallo se encuentra sumergido, siendo este medio capaz de filtrar y ser un lugar de desarrollo de bacterias para depurar el

agua residual en menor grado que las raíces que poseen las plantas acuáticas flotantes. (Romero, 1999).

En la figura que se muestra a continuación se observa cómo se encuentran estas plantas dentro de los estanques del tratamiento, y además se muestra la disposición del jacinto y lenteja de agua dentro de los mismos.

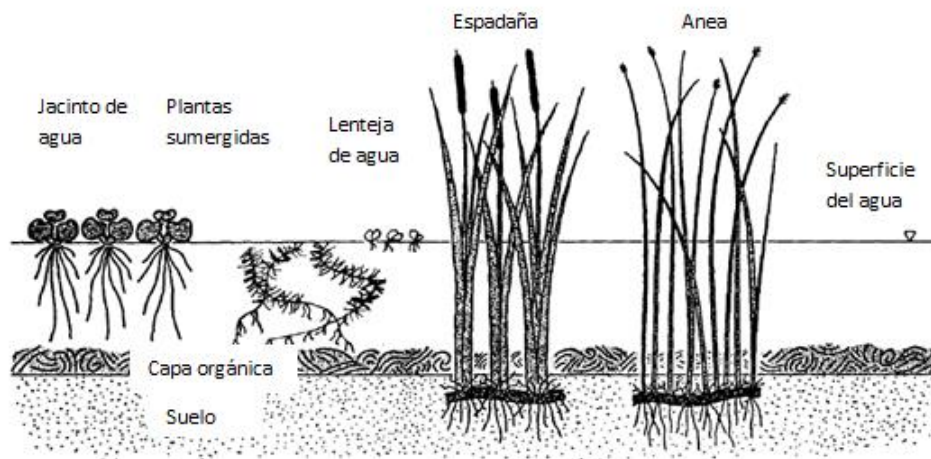


Figura 12: Esquema de un sistema de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas.

Fuente: (EPA, 1988)

3.2.2.3 Funcionamiento de las plantas acuáticas en un sistema de depuración.

Las características principales de los jacintos de agua es que consisten en un soporte biológico atractivo para las bacterias, por su sistema de raíz extenso y su velocidad de crecimiento rápida. La demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos en suspensión se eliminan a través de procesos que implican sedimentación, filtración por raíces de plantas y actividad microbológica. La actividad microbológica incluye la degradación anaeróbica de los sedimentos del fondo y la degradación bacteriana de la materia orgánica en la columna de agua por los organismos unidos y suspendidos. (Zimmels, Kirzhner, & Roitman, 2004).

Los sistemas de tratamiento acuático consisten en uno o más estanques poco profundos en los que se cultivan una o más especies de plantas vasculares tolerantes al agua, como el jacinto de agua o la lenteja de agua. Las

profundidades más superficiales y la presencia de macrófitas acuáticas en lugar de algas son las principales diferencias entre los sistemas de tratamiento acuático y las lagunas de estabilización. La presencia de plantas es de gran importancia práctica porque el efluente de los sistemas acuáticos es de mayor calidad que el efluente de los sistemas de estanques de estabilización para tiempos de detención equivalentes o más cortos. Esto es cierto, sobre todo cuando los sistemas se sitúan después de sistemas de estanques convencionales que proporcionan un tratamiento mayor que el primario. (EPA, 1988).

3.2.2.4 Eficiencia

El uso de los sistemas de tratamiento con plantas acuáticas flotantes produce buenas eficiencias de eliminación de la DBO que oscilan entre el 37 y el 91%, mientras que la eliminación de los sólidos suspendidos totales (TSS) varía del 21 al 92% (Y. Zimmels, 2004). En la siguiente tabla se especificará la calidad esperada, dependiendo del afluente que ingresa al tratamiento.

Tabla 4: Calidad esperada en los tratamientos con plantas acuáticas

Calidad esperada del efluente (mg/L)	Tratamiento secundario (no aireado)	Tratamiento secundario avanzado (aireado)	Eliminación de nutrientes (no aireado)
DBO ₅	< 30	< 15	< 10
Sólidos suspendidos	< 30	< 15	< 10
Nitrógeno total	< 15	< 15	< 5
Fósforo total	< 6	< 6	< 1-2

Fuente: (Water Environment Federation, American Society of Civil Engineers, Environmental & Water Resources Institute, 2010).

El efluente de un sistema con jacinto y lenteja de agua que sigan todas las recomendaciones y con el mantenimiento adecuado logra exceder el rendimiento de lagunas facultativas convencionales para DBO₅, SS y la eliminación de nitrógeno (EPA, 1988). Adicionalmente, otra ventaja de este sistema es obtener un efluente con menor concentración de algas en comparación a otros tipos de tratamiento.

3.3 Criterios de diseño

3.3.1 Criterios de diseño de humedales

Existen algunos factores a tomar en cuenta al momento de realizar el diseño de un humedal, donde es importante la relación de largo/ancho para asegurar el sistema hidráulico de flujo tipo pistón. En el modelo se asume que la hidráulica de flujo tipo pistón es la forma principal de transporte. Por lo tanto, la distribución interna del caudal debe realizarse utilizando relaciones de longitud a anchura elevadas o mediante barreras internas. (EPA, 1988).

Para cada sistema, el afluente debe tener controles para permitir la distribución a los estanques y segmentos de humedales, así como una salida de desbordamiento para dispersión de flujos excedentes y desviaciones de emergencia. La distribución del flujo de entrada en múltiples puntos del humedal es un requisito clave para el funcionamiento controlado y eficiente del humedal. El monitoreo de flujo es un componente importante del sistema de distribución del afluente. (EPA, 1988).

La configuración de la estructura de salida de un humedal depende del carácter del agua receptora y del número de subunidades en el humedal construido. Los controles de la estructura de salida deben ser capaces de controlar la profundidad del agua en los humedales, especialmente para las condiciones de hielo invernal donde se requieren condiciones de humedales más profundas para mantener los niveles de tratamiento. (EPA, 1988).

La cosecha de la vegetación en un humedal puede ser deseable para reducir la acumulación excesiva de desechos, que podría acortar la vida útil de un humedal de flujo superficial. (EPA, 1988)

Los criterios de diseño para humedales con flujo superficial son los indicados en la tabla 5.

Tabla 5: Criterios de diseño para humedales con flujo superficial (FWS)

CRITERIO	VALOR
Tiempo de retención para remoción de DBO (d)	2 - 15
Tiempo de retención para remoción de nitrógeno (d)	7 - 14
Carga de DBO (Kg/ha.d)	< 112
Carga hidráulica para remoción de nitrógeno (mm/d)	7,5 – 62,5
Profundidad del agua (cm)	10 - 60
Relación longitud/ancho	2:1 a 4:1
Control de mosquitos	Requerido
Intervalo de cosecha (años)	3 - 5
DBO esperada del efluente (mg/L)	< 20
SST esperado del efluente (mg/L)	< 20
NT esperado del efluente (mg/L)	< 10
PT esperado del efluente (mg/L)	< 5

Fuente: (Romero, 1999) (p.896)

Los criterios de diseño para humedales con flujo subsuperficial son los siguientes indicados en la (tabla 6).

Tabla 6: Criterios de diseño para humedales con flujo subsuperficial (SSF)

CRITERIO	VALOR
Tiempo de retención (d)	3 - 4 (DBO)
	6 - 10 (N); 4 - 15
Carga hidráulica superficial (m ³ /ha.d)	470 – 1.870
Carga orgánica (Kg DBO/ha.d)	< 112
Carga de SST (Kg/ha.d)	390
Profundidad del agua (m)	0,3 – 0,6
Profundidad del medio (m)	0,45 – 0,75
Control de mosquitos	No requiere
Programa de cosecha	No requiere

Fuente: (Romero, 1999) (p.899)

3.3.2 Criterios de diseño de tratamiento con plantas acuáticas.

Los sistemas de jacinto de agua representan la mayoría de los sistemas de plantas acuáticas que se han construido. La carga orgánica es un parámetro clave en el diseño y operación de sistemas de jacintos de agua. Se pueden describir tres tipos de sistemas de jacintos en base al nivel de oxígeno disuelto y al método de aireación del estanque (EPA, 1988).

Los sistemas de jacintos aeróbicos sin aireación suplementaria producirán tratamiento secundario y eliminación de nutrientes (nitrógeno) dependiendo de la tasa de carga orgánica. Este tipo de sistema es más común de los sistemas de jacintos ya construidos. Una de las ventajas de este sistema de tratamiento es la presencia de pocos mosquitos u olores (EPA, 1988).

Para una ubicación del sistema en la que no se toleran mosquitos u olores, se requiere un sistema aeróbico con aireación suplementaria. La ventaja adicional de tal sistema es que, con aireación, es posible una carga orgánica más alta y se requiere una superficie de tierra reducida (EPA, 1988).

La tercera configuración para un sistema de jacinto es operarlo bajo carga orgánica alta. El objetivo es lograr un tratamiento secundario, y estos sistemas son capaces de producir un tratamiento consistente sin aireación bajo carga orgánica elevada. Las desventajas incluyen el aumento de las poblaciones de mosquitos y el aumento de olores (EPA, 1988).

A continuación se detallan los criterios de diseño para los sistemas de jacinto de agua:

Tabla 7: Criterios de diseño para sistemas de tratamiento con Jacinto de agua

Tipos de sistemas de Jacinto de agua			
Parámetro	Aeróbico no aireado	Aeróbico no aireado	Aeróbico aireado
Afluente agua residual	Cribado o sedimentado	Secundario	Cribado o sedimentado
DBO ₅ afluente (mg/l)	130 a 180	30	130 a 180
Carga de DBO ₅ (kg/ha-d)	40 a 80	10 a 40	150 a 300
Efluente esperado (mg/l)			
DBO ₅	< 30	< 10	< 15
SS	< 30	< 10	< 15
Profundidad del agua (m)	0,5 a 0,8	0,6 a 0,9	0,9 a 1,4
Tiempo de retención (días)	10 a 36	6 a 18	4 a 8
Carga hidráulica (m ³ /ha.d)	> 200	< 800	550 a 1000
Calendario de cosecha	Anualmente	Dos veces por mes	Mensualmente

Fuente: (EPA, 1988)

En la tabla 8 se indica los criterios de diseño para el tratamiento de pulimento con lenteja de agua y en la tabla 9 se muestran los criterios de diseño para tratamiento con lenteja de agua para efluentes primarios.

Tabla 8: Criterios de diseño para pulimento de efluentes con sistemas de tratamiento con lenteja de agua

Factor	Tratamiento aerobio
Entrada de las aguas residuales	Efluente de laguna facultativa
Carga de DBO ₅ (kg/ha-d)	22 - 28
Carga hidráulica (m ³ /ha-d)	< 50
Profundidad del agua (m)	1,5 – 2,0
Tiempo de retención (días)	15 - 25
Temperatura del agua (°C)	> 7
Calendario de cosecha	Mensualmente

Fuente: (EPA, 1988).

Tabla 9: Criterios de diseño para tratamiento con lenteja de agua para efluentes primarios

Parámetros	Valor
Entrada de aguas residuales	Efluente de laguna facultativa
Carga de DBO ₅ (kg/ha-d)	22 - 28
Carga hidráulica (m ³ /ha-d)	22 - 28
Profundidad del agua (m)	1,5 - 2,0
Tiempo de retención hidráulica (d)	20 - 25
Temperatura del agua (°C)	> 7
Calendario de cosecha	Mensualmente para tratamiento secundario, semanalmente para eliminación de nutrientes

Fuente: Water Environment Federation, American Society of Civil Engineers, Environmental & Water Resources Institute, 2010).

3.4 Predicción de la calidad del efluente.

Para predecir la calidad del efluente, se analizarán los reactores ideales completamente mezclado y tipo pistón.

3.4.1 Reactor de flujo tipo pistón

Las partículas fluidas pasan a través del reactor con poca o ninguna mezcla longitudinal y salen del reactor en la misma secuencia en la que entraron (Metcalf & Eddy, 2004).

Las partículas permanecen en el reactor durante un tiempo igual al tiempo de retención teórico. Este tipo de flujo se aproxima en tanques largos abiertos con una relación de longitud a anchura elevada en la que la dispersión longitudinal es mínima o ausente o reactores tubulares cerrados. (Metcalf & Eddy, 2004).

Para comprender claramente en un gráfico en que consiste este modelo, se debe interpretar el concepto de un reactor de flujo tipo pistón. Para ello, se considera que el fluido ingresa al reactor y es envuelto en una serie de paquetes sellados circulando a lo largo del tanque sin realizar ningún intercambio de sustancia entre un paquete y el otro, pero lo que sí puede existir es una mezcla en el interior de cada paquete. Es decir que cada paquete es un minirreactor de mezcla completa. (Romero, 1999, pág. 266)

A continuación en el siguiente gráfico se representa un reactor de flujo tipo pistón.

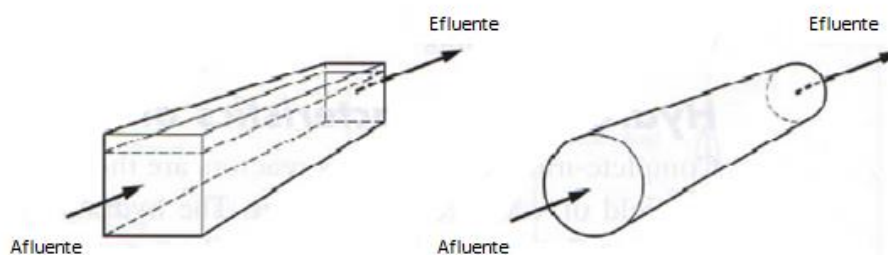


Figura 13: Esquema de un reactor de flujo en pistón

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2004)

De acuerdo a la interpretación antes mencionada, en el modelo de un reactor de flujo tipo pistón para remoción de DBO, el tiempo de retención medido, debe ser el mismo que el tiempo de retención teórica, esto nos permitirá deducir una ecuación que sirva para calcular la eficiencia de este sistema para fines evaluativos de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Según Metcalf & Eddy, 2014, la ecuación de un reactor de flujo tipo pistón se deducirá a partir de la siguiente expresión:

$$t = - \int_{C_o}^C \frac{dC}{r} \quad (1.1)$$

Para una reacción de primer orden se tiene la siguiente ecuación:

$$r = K * C \quad (1.2)$$

Reemplazando la ecuación 1.2 en la ecuación 1.1, se obtiene:

$$t = \int_{C_o}^C - \frac{dC}{KC} \quad (1.3)$$

De la ecuación 1.3, se obtiene la siguiente ecuación:

$$t = - \frac{1}{K} \ln \frac{C}{C_o} \quad (1.4)$$

$$C = C_o e^{-Kt} \quad (1.5)$$

Donde:

C = concentración en el efluente.

Co = concentración en el afluente.

K = constante de velocidad de reacción de primer orden a determinada temperatura.

t = tiempo teórico de retención.

Según Reed, Crites y Middlebrooks, citado por Y. Zimmels, F. Kirzhner, S. Roitman (2004) en la referencia 8, "K" puede valorarse en 1,1.

Para calcular la constante de velocidad de reacción de primer orden a diferentes temperaturas, según la EPA (1988), se tiene la siguiente expresión:

$$K = K_{20} \theta^{(T-20)} \quad (1.6)$$

Donde:

θ = coeficiente de temperatura derivado empíricamente.

$\theta = 1,06$

T = temperatura del agua, °C.

3.4.2 Reactor completamente mezclado.

En este reactor, se supone que la mezcla completa se produce instantánea y uniformemente en todo el reactor a medida que las partículas de fluido entran en el reactor. (Metcalf & Eddy, 2004).

La mezcla completa puede realizarse en reactores redondos o cuadrados si el contenido del reactor se distribuye uniformemente y continuamente. El tiempo real requerido para alcanzar condiciones completamente mezclada dependerá de la geometría del reactor y de la entrada de caudal. (Metcalf & Eddy, 2004).

Según lo mencionado en la definición, se puede representar este tipo de reactor con el siguiente gráfico.

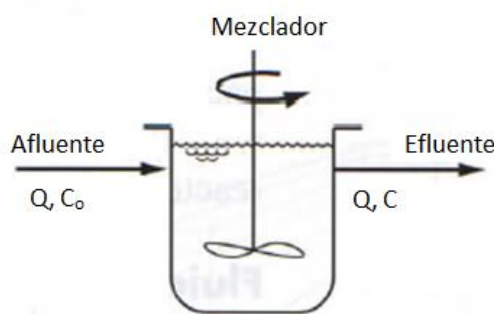


Figura 14: Esquema de un reactor de mezcla completa
Fuente: (Metcalf & Eddy, 2004).

Para predecir la calidad del efluente mediante el reactor de mezcla completa, según Metcalf & Eddy, se emplea la siguiente expresión:

$$t = \frac{C_0 - C}{R} \quad (1.7)$$

Donde:

C = concentración en el reactor.

C₀ = concentración en el afluente al reactor.

t = tiempo teórico de retención.

Como se indicó anteriormente, para una reacción de primer orden se tiene la siguiente expresión:

$$r = K * C \quad (1.8)$$

Reemplazando la ecuación 1.2 en la ecuación 1.1 y resolviendo la integral, se obtiene:

$$t = \frac{1}{K} \left(\frac{C_0}{C} - 1 \right) \quad (1.9)$$

$$C = \frac{C_0}{1 + Kt} \quad (1.10)$$

Para ambos reactores, la eficiencia de remoción de DBO se determina con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (1.11)$$

3.5 Uso de aguas residuales para riego de cultivos

El uso de aguas residuales para riego debe ser cuidadosamente vigilado debido a que si no se tiene un control adecuado de los valores de las características del agua residual, se puede llegar a afectar a la salud de los consumidores de ciertos productos que son regados con el agua residual tratada.

Los riesgos principales del uso de aguas residuales para riego son los siguientes:

- Transmisión de infecciones por nemátodos intestinales tanto a los agricultores como a las personas que consumen productos agrícolas cultivados en terrenos irrigados con aguas residuales,
- Transmisión de enfermedades a causa de bacterias fecales que producen enfermedades tales como la diarrea, tifoidea y el cólera.

En muchos países en desarrollo no existen estándares de efluentes. Aun así, los ingenieros diseñadores deben asegurarse de que los efluentes producidos en su tratamiento no contaminen los cauces naturales. Se requiere ciertamente un estándar para la DBO, DQO, E. coli y nemátodos o huevos de helminto en caso de la reutilización de aguas residuales en agricultura o acuicultura. (Mara, 2003). A continuación se muestra una tabla en la que se indica los estándares de calidad para el uso de aguas residuales en la agricultura.

Tabla 10: Estándares de calidad para el uso de aguas residuales en la agricultura.

Tipo de irrigación	Objetivo sanitario para patógenos virales, bacterianos y protozoarios	Objetivo de reducción microbiana para huevos de helmintos
No restringido	$\leq 10^{-6}$ por persona por año ^a	≤ 1 por litro (significado aritmético) ^{b,c}
Restringido	$\leq 10^{-6}$ por persona por año ^a	≤ 1 por litro (significado aritmético) ^{b,c}
Localizado (riego por goteo)	$\leq 10^{-6}$ por persona por año ^a	(a) Cultivos de bajo crecimiento ^d ≤ 1 por litro (significado aritmético) (b) Cultivos de alto crecimiento ^{d,e} No recomendación

Fuente: (Organización Mundial de la Salud, 2006).

- El objetivo sanitario puede lograrse, para el riego sin restricciones y localizado, mediante una reducción de patógenos de 6-7 unidades logarítmicas (obtenida mediante una combinación de tratamiento de aguas residuales y otras medidas de protección de la salud). Para el riego restringido, se logra mediante una reducción de patógenos de 2-3 unidades logarítmicas.

- Cuando los niños menores de 15 años están expuestos, se deben usar medidas adicionales de protección de la salud.
- Se debe determinar una media aritmética a lo largo de la temporada de riego. Se debe obtener el valor medio de ≤ 1 huevo por litro para al menos el 90% de las muestras para permitir la muestra ocasional de alto valor (es decir, con > 10 huevos por litro). Con algunos procesos de tratamiento de aguas residuales (por ejemplo, lagunas de estabilización), el tiempo de retención hidráulica puede usarse como sustituto para asegurar el cumplimiento con ≤ 1 huevo por litro.
- Los cultivos de alto crecimiento incluyen árboles frutales, aceitunas, etc.
- No se recogen cosechas del suelo.

3.5.1 Normativa

El Acuerdo Ministerial No. 097- A publicado en el Registro Oficial 387 de 4 de noviembre del 2015, que reemplaza al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, menciona que se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes. Según el numeral 5.1.3 se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos. Los criterios de calidad admisibles para riego son los siguientes:

Tabla 11: Criterios de calidad de aguas para uso agrícola en riego

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico	As	mg/L	0,1
Berilio	Be	mg/L	0,1
Boro	B	mg/L	0,75
Cadmio	Cd	mg/L	0,05
Cinc	Zn	mg/L	2,0
Cobalto	Co	mg/L	0,01
Cobre	Cu	mg/L	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/L	0,1
Flúor	F	mg/L	1,0
Hierro	Fe	mg/L	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/L	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/L	0,001
Manganeso	Mn	mg/L	0,2
Molibdeno	Mo	mg/L	0,01
Níquel	Ni	mg/L	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/L	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	3
pH	pH		6 a 9
Plomo	Pb	mg/L	5,0
Selenio	Se	mg/L	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L	250
Vanadio	V	mg/L	0,1

Fuente: (Acuerdo Ministerial No. 097- A, Registro Oficial de la República del Ecuador N° 387, 2015).

CAPÍTULO IV: INVESTIGACIÓN DE CAMPO.

4.1 Metodología del trabajo experimental

La metodología adoptada durante la investigación de campo fue la siguiente:

a) Se realizó un análisis de la variación del caudal de ingreso de la planta de tratamiento de Chaltura y Natabuela durante 3 días, midiendo diariamente los caudales con una frecuencia de media hora en el período de 7 de la mañana hasta las 5 de la tarde.

Este análisis se efectuó con el objetivo de conocer la hora en la cual el caudal es máximo y mínimo. El tiempo de retención en las unidades de tratamiento secundario es inversamente proporcional al caudal que ingresa en la planta depuradora, es decir, cuando el caudal es máximo el tiempo de retención es mínimo, siendo este caso el más crítico, mientras que cuando el caudal es mínimo se tiene el mayor tiempo de retención en las unidades de tratamiento.



Fotografía 13: Medición de caudales.

b) Para establecer las horas de muestreo se consideró la hora en la que ingresa el máximo caudal, mínimo caudal y un caudal promedio. Una vez establecidas las horas para la toma de muestras, se organizó un programa de muestreo de 15 días, el cual se ejecutó del 11 al 29 de enero del 2016. Para el muestreo se contó

con la asistencia de una ingeniera química del Laboratorio de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I). En la siguiente tabla se indica las fechas y horas de la toma de muestras.

Tabla 12: Calendario de la toma de muestras.

DÍA	FECHA DE LA TOMA DE MUESTRA	HORA DE MUESTREO
LUNES	11/01/2016	12H30
MARTES	12/01/2016	07H00
MIÉRCOLES	13/01/2016	15H30
JUEVES	14/01/2016	12H30
VIERNES	15/01/2016	12H30
LUNES	18/01/2016	12H30
MARTES	19/01/2016	07H00
MIÉRCOLES	20/01/2016	15H30
JUEVES	21/01/2016	07H00
VIERNES	22/01/2016	07H00
LUNES	25/01/2016	12H30
MARTES	26/01/2016	07H00
MIÉRCOLES	27/01/2016	15H30
JUEVES	28/01/2016	15H30
VIERNES	29/01/2016	15H30

A continuación se muestran fotografías del muestreo de aguas residuales.



Fotografía 14: Toma de muestra al ingreso de la planta de tratamiento.



Fotografía 15: Toma de muestra a la salida de la planta de tratamiento

Al momento de culminar la toma de muestras diaria, tanto a la entrada como a la salida de la planta de tratamiento, los envases fueron colocados dentro de un contenedor con fundas de hielo para preservar las muestras, y enseguida fueron transportados al laboratorio para realizar los respectivos ensayos de DBO_5 y coliformes fecales (*E. coli*). Los análisis de aguas residuales se realizaron en el Laboratorio de la EMAPA-I.



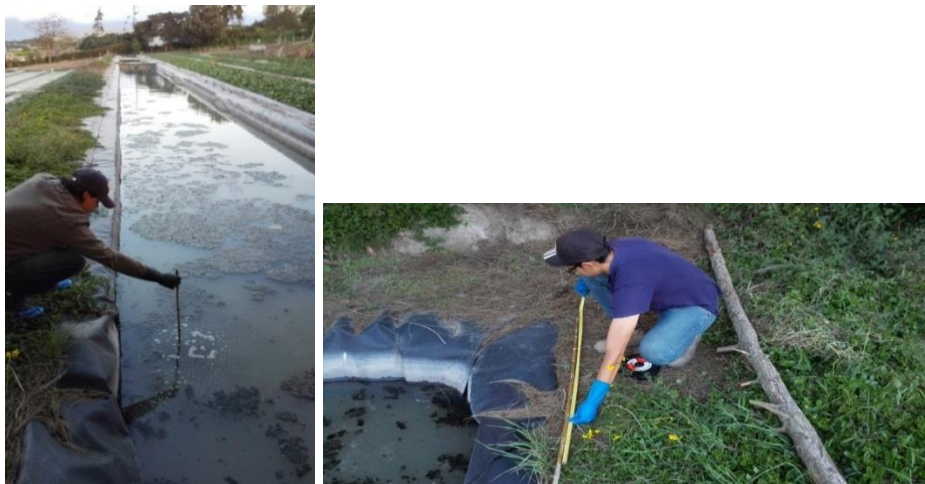
Fotografía 16: Contenedor con las muestras diarias

c) Para confirmar los resultados obtenidos de los parámetros a ser analizados, se tomaron las muestras adicionales, el día 12 de septiembre del 2016, que coincide con el final del verano en la región.



Fotografía 17: Toma de la muestra adicional a la entrada y salida de la planta de tratamiento.

d) Después de haber tomado todas las muestras para los respectivos análisis, se procedió a medir las dimensiones físicas de todos los estanques (longitud, ancho y profundidad), para de esta manera obtener el volumen total de la unidad de tratamiento, dato que permitirá calcular el tiempo de retención en cada estanque.



Fotografía 18: Medición de la profundidad de los estanques.

4.2 Mediciones de campo.

4.2.1 Medición de caudal.

La medición del caudal se realizó a la entrada y salida de la planta de tratamiento. Las mediciones realizadas a la salida de la planta fueron descartadas ya que por dificultades operacionales en la realización del aforo, los resultados no tenían la exactitud ni la precisión suficientes.

El caudal se midió a la entrada a la planta depuradora en vertedero triangular de pared delgada, dotado de su respectiva regleta ubicada a 0,20 m de la pared del vertedero. El vertedero se encuentra en el cajón regulador de caudal a la entrada de la planta.



Fotografía 19: Vertedero triangular de pared delgada con descarga libre.

A continuación se indica la fórmula para calcular el caudal teórico en el vertedero triangular con descarga libre:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}} \quad (1.12)$$

Donde:

Q = caudal de aproximación al vertedero.

h = altura del agua medida desde el vértice hasta el nivel del agua.

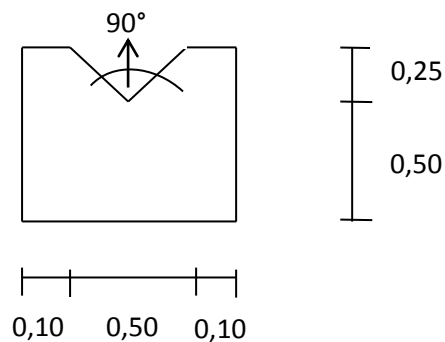
θ = ángulo de abertura del vertedero.

Para calcular el caudal en el vertedero triangular, se debe introducir al caudal teórico un coeficiente de descarga:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}} \times C_D \quad (1.13)$$

La planta de tratamiento de Chaltura y Natabuela dispone de un vertedero de 90° y una altura “h” variable menor a 25cm.

Figura 15: Esquema del vertedero triangular



Según Thomson citado en la referencia 19, para un vertedero con altura entre 5 y 25 cm, el coeficiente de descarga C_D tiene un valor igual a 0,593, por lo tanto:

$$Q = \frac{8}{15} 0.593 \sqrt{2 * 9.81} \tan\left(\frac{90}{2}\right) h^{\frac{5}{2}} \quad (1.14)$$

$$Q = 1,4 h^{\frac{5}{2}} \quad (1.15)$$

4.2.2 Medición de temperatura.

Las mediciones de temperatura se realizaron a la entrada y salida de la planta de tratamiento. Este proceso se ejecutó con la ayuda de un termohigrómetro marca Elicrom. Los datos obtenidos en campo se detallan en el anexo No 3.



Fotografía 20: Medición de la temperatura del agua con el termohigrómetro.

4.2.3 Medición de la calidad del agua.

La medición de los parámetros de calidad al igual que de temperatura, se midieron a la entrada y salida de la unidad de tratamiento secundario de la planta depuradora. Este proceso se realizó con el debido cuidado para proteger las muestras extraídas diariamente, y así evitar obtener resultados erróneos.

4.2.3.1 DBO₅.

Para el caso del parámetro DBO₅, se tomaron las muestras simples en envases de vidrio, con capacidad de 1L. Se tomaron muestras tanto a la entrada como

salida de la planta de tratamiento. Estos envases fueron transportados enseguida de haber tomado la muestra. En las siguientes fotografías se podrá mirar el proceso de muestreo.



Fotografía 21: Toma de muestra en el envase estandarizado de vidrio.

Al momento de ser entregadas las muestras en el laboratorio, el técnico responsable procede a realizar los ensayos con el método de la cuantificación respirométrica Standard Methods – 5210D. Los resultados obtenidos en los ensayos serán presentados en el capítulo 5. En la realización de los ensayos para DBO_5 se usó una incubadora modelo Oxitop Box de la marca WTW que funciona a 20°C en agitación por 5 días.

4.2.3.2 Coliformes fecales.

En lo referente a coliformes fecales, se tomó la muestra en un recipiente esterilizado de plástico con tapa hermética con un volumen de 100 ml. Se tomaron muestras a la entrada y a la salida de la planta de tratamiento. El transporte de estas muestras se realizó conjuntamente con las muestras tomadas para DBO_5 . A continuación se mostrará las fotografías del proceso de muestreo.



Fotografía 22: Envases estandarizados para el muestreo

Una vez transportadas las muestras al laboratorio, el técnico responsable procedió a realizar los ensayos respectivos por el método de filtración por membrana Standard Methods – 9222B. Los resultados obtenidos en los ensayos serán presentados en el capítulo 5. En la realización de los ensayos para coliformes fecales se utilizó una cámara de flujo marca Lubconco, un sistema de filtración por membrana, una bomba de succión al vacío marca Millipore y una incubadora marca Memmert que funciona a 35°C por 24 horas.

4.2.3.3 Otros

En los análisis realizados, no solo se midió DBO_5 y coliformes fecales, sino también coliformes totales. El proceso para la toma de muestra es el mismo que para coliformes fecales, debido a que la muestra tomada, sirvió también para realizar el análisis respectivo de coliformes totales.



Fotografía 23: Envase para la toma de muestra de coliformes fecales y totales.

CAPÍTULO V: RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

5.1 Presentación de resultados.

En la tabla 13 se muestra los resultados obtenidos experimentalmente para DBO₅, temperatura, coliformes totales y coliformes fecales (E. coli), a la entrada y a la salida del tratamiento secundario (estanques con plantas acuáticas flotantes); y, también se reporta el caudal medido dentro del cajón regulador de caudal a la entrada de la planta depuradora. En la tabla 13, de igual forma se muestran los promedios de los parámetros medidos.

Tabla 13: Resultados obtenidos de la planta de tratamiento.

DÍA	FECHA	DBO ₅ (mg/L)		COLIFORMES TOTALES (UFC/100 mL)	
		ENTRADA AL TRATAMIENTO SECUNDARIO	SALIDA DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO	ENTRADA AL TRATAMIENTO SECUNDARIO	SALIDA DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO
1	11/01/2016	145	52	8,40E+06	1,84E+06
2	12/01/2016	100	56	8,44E+06	1,33E+06
3	13/01/2016	85	60	5,08E+06	1,69E+06
4	14/01/2016	90	58	6,84E+06	1,36E+06
5	15/01/2016	125	60	7,64E+06	8,10E+05
6	18/01/2016	95	52	7,64E+06	4,80E+05
7	19/01/2016	100	50	4,38E+06	1,88E+06
8	20/01/2016	220	38	1,31E+07	8,40E+05
9	21/01/2016	140	40	5,40E+06	1,14E+06
10	22/01/2016	120	50	3,97E+06	1,29E+06
11	25/01/2016	130	80	3,70E+06	1,46E+06
12	26/01/2016	225	82	3,21E+06	2,60E+06
13	27/01/2016	120	72	5,04E+06	1,02E+06
14	28/01/2016	125	62	3,68E+06	5,40E+05
15	29/01/2016	190	66	7,12E+06	1,64E+06
16	12/09/2016	205	82	1,14E+07	5,96E+06
PROMEDIO		138,4	60	6,57E+06	1,62E+06

DÍA	FECHA	COLIFORMES FECALES (E. COLI) (UFC/100 mL)		CAUDAL (L/s)	TEMPERATURA (°C)	
		ENTRADA AL TRATAMIENTO SECUNDARIO	SALIDA DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO		ENTRADA AL TRATAMIENTO SECUNDARIO	SALIDA DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO
1	11/01/2016	5,20E+06	8,80E+05	7,59	21,2	22,3
2	12/01/2016	5,08E+06	6,00E+05	12,57	19,7	20,7
3	13/01/2016	1,72E+06	8,40E+05	6,81	20,4	21,4
4	14/01/2016	4,04E+06	8,00E+05	10,01	20,4	21,2
5	15/01/2016	5,72E+06	3,90E+05	12,57	21,2	20,6
6	18/01/2016	6,00E+06	2,80E+05	9,31	21,3	19,9
7	19/01/2016	2,88E+06	3,20E+05	17,07	20,0	16,4
8	20/01/2016	8,76E+06	4,00E+05	14,87	20,7	21,0
9	21/01/2016	4,00E+06	4,10E+05	13,98	20,1	20,1
10	22/01/2016	2,33E+06	7,20E+05	10,01	20,7	19,7
11	25/01/2016	2,80E+06	7,70E+05	9,08	20,2	20,4
12	26/01/2016	8,70E+05	4,40E+05	4,65	20,2	19,5
13	27/01/2016	3,04E+06	3,10E+05	3,90	20,8	20,1
14	28/01/2016	1,72E+06	3,00E+05	9,91	21,9	19,9
15	29/01/2016	3,52E+06	2,40E+05	11,22	20,1	20,4
16	12/09/2016	7,80E+06	3,08E+06	11,24	19,8	20,5
PROMEDIO		4,09E+06	6,74E+05	10,30	20,5	20,3

Estos resultados permitirán realizar los análisis respectivos para, de esta manera, determinar la eficiencia de la planta de tratamiento y verificar si cumple con los estándares de calidad recomendados en la normativa vigente.

En el anexo 7, se muestran los resultados obtenidos del laboratorio para DBO₅, coliformes totales y coliformes fecales (E. coli) durante los 16 días de experimentación y el tipo de plantas acuáticas.

5.2 Análisis e interpretación de resultados.

5.2.1 Eficiencia de la planta depuradora en la remoción de DBO₅ y coliformes fecales (E. coli).

Los cálculos realizados se muestran a continuación:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Concentración promedio}_{\text{entrada}} - \text{Concentración promedio}_{\text{salida}}}{\text{Concentración promedio}_{\text{entrada}}} * 100 \quad (1.16)$$

$$\text{Eficiencia remoción DBO}_5 = \frac{138,4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) - 60 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{138,4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} * 100$$

$$\text{Eficiencia remoción DBO}_5 = 56,6 \%$$

$$\text{Eficiencia remoción coliformes fecales} = \frac{4,09\text{E}+06 \left(\frac{\text{UFC}}{100\text{mL}} \right) - 6,74\text{E}+05 \left(\frac{\text{UFC}}{100\text{mL}} \right)}{4,09\text{E}+06 \left(\frac{\text{UFC}}{100\text{mL}} \right)} * 100$$

$$\text{Eficiencia remoción coliformes fecales} = 83,5 \%$$

Tabla 14: Porcentaje de remoción para DBO5 y coliformes fecales.

% de remoción DBO₅:	56,6
% de remoción coliformes fecales (C.F.):	83,5

Para el caso de DBO₅, según Texas Water Resources Institute (1988), el porcentaje de remoción esperado está entre el 60% y 95%, dependiendo de la tasa de crecimiento de las plantas acuáticas flotantes; para el caso de una tasa de crecimiento óptima se tiene alrededor de un 92% de remoción de DBO₅ según Shahabaldin Rezania (2016). La eficiencia (56,7%) de la planta depuradora es inferior al rango antes referido.

Para el caso de coliformes fecales, según Ogiye (2009), el porcentaje de remoción reportado es de hasta 99,6%, cuando la cobertura de plantas acuáticas flotantes es 100% y además el modo de tratamiento es de flujo continuo. La eficiencia de la planta (83,5%), es inferior al valor referido por la literatura consultada.

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización en el Código de Práctica Ecuatoriano (CPE INEN 005-9-1), en la décima parte, en el numeral 4.3.14 (Tabla 3), se indica las eficiencias esperadas para sistemas de depuración, sin embargo

no consta la eficiencia para tratamiento con plantas acuáticas flotantes (jacinto y lenteja de agua).

5.2.2 Tiempo de retención.

Para analizar el tiempo de retención, se procedió con el cálculo de los tiempos para cada día en todos los 38 reactores, obteniendo los resultados que se presenta en la tabla 15. El cálculo se realizó de la siguiente forma:

$$t = \frac{\text{Volumen total de estanques (m}^3\text{)}}{\text{Caudal medido } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}} \quad (1.17)$$

Tabla 15: Tiempo de retención

DÍA	CAUDAL (m ³ /s)	VOLUMEN TOTAL DE ESTANQUES (m ³)	TIEMPO DE RETENCIÓN (d)
1	0,00759	4897,06	7,47
2	0,01257	4897,06	4,51
3	0,00681	4897,06	8,32
4	0,01001	4897,06	5,66
5	0,01257	4897,06	4,51
6	0,00931	4897,06	6,09
7	0,01707	4897,06	3,32
8	0,01487	4897,06	3,81
9	0,01398	4897,06	4,05
10	0,01001	4897,06	5,66
11	0,00908	4897,06	6,24
12	0,00465	4897,06	12,19
13	0,00390	4897,06	14,53
14	0,00991	4897,06	5,72
15	0,01122	4897,06	5,05
16	0,01124	4897,06	5,04

El tiempo de retención promedio obtenido es de 6,39 días. Según Water Environment Federation, American Society of Civil Engineers y Environmental & Water Resources Institute (2010), el tiempo de retención recomendado en los criterios de diseño está en el rango de 10 a 36 días para el caso de sistemas con

jacinto de agua, mientras que para sistemas de lenteja de agua el tiempo recomendado es de 20 a 25 días.

Al comparar el tiempo de retención teórico calculado para la planta depuradora de Chaltura y Natabuela con los recomendados, se puede notar que en la planta de tratamiento el tiempo es inferior.

5.2.3 Carga orgánica superficial.

Para calcular la carga orgánica superficial se consideró el promedio de los resultados de DBO_5 a la entrada del tratamiento secundario y se obtuvieron los siguientes resultados:

$$Carga\ orgánica = \bar{Q} \left(\frac{L}{s} \right) * \overline{DBO_5} \left(\frac{mg}{L} \right) \quad (1.18)$$

Donde:

\bar{Q} = caudal promedio.

$\overline{DBO_5}$ = DBO_5 promedio en el afluente.

$$\bar{Q} = 10,30 \text{ L/s}$$

$$\overline{DBO_5} = 138,4 \text{ mg/L}$$

$$Carga\ orgánica = 10,30 \text{ L/s} * 138,4 \text{ mg/L}$$

$$Carga\ orgánica = 1425,52 \text{ mg/s}$$

$$\text{Área superficial} = 0,397887 \text{ ha (Ver anexo No. 4, tabla 20)}$$

$$Carga\ orgánica\ superficial_{aplicada} = \frac{Carga\ orgánica \left(\frac{mg}{s} \right)}{\text{Área superficial (ha)}} * \frac{86.400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \quad (1.19)$$

$$Carga\ orgánica\ superficial_{aplicada} = \frac{1425,52 \left(\frac{mg}{s} \right)}{0,397887 \text{ (ha)}} * \frac{86.400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}}$$

$$Carga\ orgánica\ superficial_{aplicada} = 309,55 \frac{\text{kg } DBO_5}{\text{ha.d}}$$

Según Water Environment Federation, American Society of Civil Engineers y Environmental & Water Resources Institute (2010), para sistemas con jacinto de agua la carga orgánica superficial se recomienda en el rango de 40 a 80 kg DBO₅/ha.d, mientras que en sistemas con lenteja de agua entre 22 y 28 kg DBO₅/ha.d, por lo tanto la carga orgánica que ingresa en el tratamiento secundario de la planta de tratamiento supera los rangos recomendados.

Este parámetro desempeña un papel fundamental al momento de tratar el agua residual. El valor obtenido de 309,55 kg/ha.d evidencia que la planta se encuentra sobrecargada.

5.2.4 Estimación de DBO₅ y concentración de coliformes fecales (C.F.) en el efluente secundario.

Para este análisis, se realizó el modelamiento con los reactores ideales completamente mezclado y tipo pistón, tomando en cuenta el volumen y tiempo de retención en los 38 reactores.

5.2.4.1 Predicción de la calidad del efluente considerando reactores completamente mezclados en serie.

a) Estimación de la DBO₅ en el efluente.

La ecuación para el cálculo de la concentración final de DBO₅ en cada reactor completamente mezclado se presenta a continuación:

$$DBO_{5f_{calculada}} = \frac{DBO_{5o}}{1 + K_T * t} \quad (1.20)$$

$$K_T = K_{20} * \theta^{T-20} \quad (1.21)$$

Donde:

$DBO_{5f_{calculada}}$ = concentración final de DBO₅ en el efluente de cada reactor (mg/L).

DBO_{5_0} = concentración inicial de DBO_5 en el afluente de cada reactor (mg/L).

K_T = constante de velocidad de reacción de DBO_5 corregida por temperatura (d^{-1}).

t = tiempo de retención en cada reactor (d).

K_{20} = constante de velocidad de reacción de DBO_5 a $20^\circ C = 1,1$ (según Y. Zimmels , 2004).

$\theta = 1,06$ (según EPA, 1988).

T = temperatura promedio medida en campo ($^\circ C$).

Para el caso del primer reactor en el primer día, el cálculo se presenta a continuación:

Para calcular la constante de velocidad de reacción se utilizará la ecuación 1.21, con la temperatura promedio del primer día.

$$K_{21,75^\circ} = 1,1 * 1,06^{21,75^\circ - 20^\circ}$$

$$K_{21,75^\circ} = 1,218 d^{-1}$$

Datos:

$$DBO_{5_0} = 145 \text{ mg/L}$$

$$K_{21,75^\circ} = 1,218 d^{-1}$$

$t = 0,191 \text{ d}$ (Ver anexo No. 4, tabla 21)

$$DBO_{5f_{calculada}} = \frac{145 \left(\frac{mg}{L} \right)}{1 + 1,218 (d^{-1}) * 0,191 (d)}$$

$$DBO_{5f_{calculada}} = 117,6 \frac{mg}{L}$$

Este procedimiento se lo realiza para los 38 reactores con los datos tomados diariamente durante los 16 días. En la tabla 14 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 16: Predicción de la calidad del efluente al final de los 38 reactores completamente mezclados para DBO₅ en cada día.

DÍA	DBO _o (mg/L)	DBO _f calculada (mg/L)
1	145	0,0
2	100	0,9
3	85	0,0
4	90	0,2
5	125	0,9
6	95	0,2
7	100	4,3
8	220	3,4
9	140	2,0
10	120	0,4
11	130	0,2
12	225	0,0
13	120	0,0
14	125	0,3
15	190	1,0
16	205	1,1
PROMEDIO	138,4	0,9

En la tabla 26 del anexo 6, se presenta los valores calculados de la constante de velocidad de reacción K de DBO₅ para los 16 días de experimentación, teniendo en cuenta la temperatura promedio para cada día.

En la tabla 22 del anexo 5, se presentan los valores calculados del efluente de cada reactor diariamente para los 16 días de experimentación, para DBO₅ en reactores considerados como completamente mezclados en serie.

b) Estimación de coliformes fecales en el efluente.

La ecuación para el cálculo de la concentración final de coliformes fecales (C.F.) se presenta a continuación:

$$CF_{f\text{ calculada}} = \frac{CF_o}{1 + K_{bT} * t} \quad (1.22)$$

$$K_{bT} = K_{b20} * \theta^{T-20} \quad (1.23)$$

Donde:

$CF_{f\text{calculada}}$ = concentración final de C.F. en el efluente de cada reactor (UFC/100 mL).

CF_0 = concentración inicial de C.F. en el afluente de cada reactor (UFC/100 mL).

K_{bT} = constante de velocidad de reacción de C.F. corregida por temperatura (d^{-1}).

t = tiempo de retención en cada reactor (d).

$K_{b_{20}}$ = constante de velocidad de reacción de C.F. a 20°C = 2,6 según (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

θ = 1,19 según (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

T = temperatura promedio medida en campo ($^\circ\text{C}$).

Para el caso del primer reactor en el primer día, el cálculo se presenta a continuación:

Para calcular la constante de velocidad de reacción utilizamos la ecuación 1.23, utilizando la temperatura promedio del primer día.

$$K_{b_{21,75^\circ}} = 2,6 * 1,19^{21,75^\circ - 20^\circ}$$

$$K_{b_{21,75^\circ}} = 3,525 \text{ d}^{-1}$$

Datos:

$$CF_0 = 5.20\text{E}+06 \text{ UFC/100 mL}$$

$$K_{b_{21,75^\circ}} = 3,525 \text{ d}^{-1}$$

$$t = 0,191 \text{ d}$$

$$CF_{f\text{calculada}} = \frac{5.20\text{E}+06 \left(\frac{\text{UFC}}{100\text{mL}} \right)}{1 + 3,525 (d^{-1}) * 0,191 (d)}$$

$$CF_{f\text{calculada}} = 3,10\text{E} + 06 \frac{\text{UFC}}{100\text{mL}}$$

Este procedimiento se lo realiza para los 38 reactores con los datos tomados diariamente durante los 16 días. En la tabla 17 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 17: Predicción de la calidad del efluente al final de los 38 reactores completamente mezclados para coliformes fecales en cada día.

DÍA	CF _o (UFC/100 ml)	CF _f calculada (UFC/100 ml)
1	5,20E+06	0
2	5,08E+06	138
3	1,72E+06	0
4	4,04E+06	4
5	5,72E+06	48
6	6,00E+06	3
7	2,88E+06	8.440
8	8,76E+06	390
9	4,00E+06	320
10	2,33E+06	7
11	2,80E+06	2
12	8,70E+05	0
13	3,04E+06	0
14	1,72E+06	1
15	3,52E+06	30
16	7,80E+06	79
PROMEDIO	4,09E+06	5,9E+02

En la tabla 27 del anexo 6, se presenta los valores calculados de la constante de velocidad de reacción K de coliformes fecales para los 16 días de experimentación, teniendo en cuenta la temperatura promedio para cada día.

En la tabla 23 del anexo 5, se presentan los valores calculados del efluente de cada reactor diariamente para los 16 días de experimentación, para coliformes fecales en reactores considerados como completamente mezclados en serie.

5.2.4.2 Predicción de la calidad del efluente considerando reactores tipo pistón.

a) Estimación de la DBO₅ en el efluente.

La ecuación para el cálculo de la concentración final de DBO₅ en cada reactor tipo pistón se presenta a continuación:

$$DBO_{5f_{calculada}} = DBO_{5o} * e^{-K_T * t} \quad (1.24)$$

$$K_T = K_{20} * \theta^{T-20} \quad (1.25)$$

Donde:

$DBO_{5f_{calculada}}$ = concentración final de DBO₅ en el efluente de cada reactor (mg/L).

DBO_{5o} = concentración inicial de DBO₅ en el afluente de cada reactor (mg/L).

K_T = constante de velocidad de reacción de DBO₅ corregida por temperatura (d⁻¹).

t = tiempo de retención en cada reactor (d).

K_{20} = constante de velocidad de reacción de DBO₅ a 20°C = 1,1 (según Y. Zimmels, 2004).

θ = 1,06 (según EPA, 1988).

T = temperatura promedio medida en campo (°C).

Para el caso del primer reactor en el primer día, el cálculo se presenta a continuación:

Para calcular la constante de velocidad de reacción se utilizará la ecuación 1.25, con la temperatura promedio del primer día.

$$K_{21,75^\circ} = 1,1 * 1,06^{21,75^\circ - 20^\circ}$$

$$K_{21,75^\circ} = 1,218 \text{ d}^{-1}$$

Datos:

$$DBO_{50} = 145 \text{ mg/L}$$

$$K_{21,75^\circ} = 1,218 \text{ d}^{-1}$$

$$t = 0,191 \text{ d}$$

$$DBO_{5f_{calculada}} = 145 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * e^{-1,218 (d^{-1}) * 0,191 (d)}$$

$$DBO_{5f_{calculada}} = 114,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Este procedimiento se lo realiza para los 38 reactores con los datos tomados diariamente durante los 16 días. En la tabla 18 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 18: Predicción de la calidad del efluente al final de los 38 reactores tipo pistón para DBO5 en cada día.

DÍA	DBO _o (mg/L)	DBO _f calculada (mg/L)
1	145	0,0
2	100	0,7
3	85	0,0
4	90	0,1
5	125	0,7
6	95	0,1
7	100	3,7
8	220	2,7
9	140	1,6
10	120	0,2
11	130	0,1
12	225	0,0
13	120	0,0
14	125	0,2
15	190	0,7
16	205	0,8
PROMEDIO	138,4	0,7

En la tabla 26 del anexo 6, se presenta los valores calculados de la constante de velocidad de reacción K de DBO₅ para los 16 días de experimentación, teniendo en cuenta la temperatura promedio para cada día.

En la tabla 24 del anexo 5, se presentan los valores del efluente de cada reactor diariamente para los 16 días de experimentación, para DBO₅ en reactores considerados como tipo pistón.

b) Estimación de coliformes fecales en el efluente.

La ecuación para el cálculo de la concentración final de coliformes fecales (C.F.) se presenta a continuación:

$$CF_{f_{calculada}} = CF_o * e^{-K_{bT} * t} \quad (1.26)$$

$$K_{bT} = K_{b_{20}} * \theta^{T-20} \quad (1.27)$$

Donde:

$CF_{f_{calculada}}$ = concentración final de C.F. en el efluente de cada reactor (UFC/100 mL).

CF_o = concentración inicial de C.F. en el afluente de cada reactor (UFC/100 mL).

K_{bT} = constante de velocidad de reacción de C.F. corregida por temperatura (d⁻¹).

t = tiempo de retención en cada reactor (d).

$K_{b_{20}}$ = constante de velocidad de reacción de C.F. a 20°C = 2,6 según (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

θ = 1,19 según (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

T = temperatura promedio medida en campo (°C).

Para el caso del primer reactor en el primer día, el cálculo se presenta a continuación:

Para calcular la constante de velocidad de reacción se utilizará la ecuación 1.27, utilizando la temperatura promedio del primer día.

$$K_{b_{21,75^\circ}} = 2,6 * 1,19^{21,75^\circ - 20^\circ}$$

$$K_{b_{21,75^\circ}} = 3,525 \text{ d}^{-1}$$

Datos:

$$CF_o = 5.20E+06 \text{ UFC/100 mL}$$

$$K_{b_{21,75^\circ}} = 3,525 \text{ d}^{-1}$$

$$t = 0,191 \text{ d}$$

$$CF_{f_{calculada}} = 5,20E + 06 \left(\frac{\text{UFC}}{100\text{mL}} \right) * e^{-3,525 (d^{-1}) * 0,191 (d)}$$

$$CF_{f_{calculada}} = 2,65E + 06 \frac{\text{UFC}}{100\text{mL}}$$

Este procedimiento se lo realiza para los 38 reactores con los datos tomados diariamente durante los 16 días. En la tabla 19 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 19: Predicción de la calidad del efluente al final de los 38 reactores tipo pistón para coliformes fecales en cada día.

DÍA	CF _o (UFC/100 ml)	CF _f calculada(UFC/100 ml)
1	5,20E+06	0
2	5,08E+06	27
3	1,72E+06	0
4	4,04E+06	0
5	5,72E+06	6
6	6,00E+06	0
7	2,88E+06	5.224
8	8,76E+06	90
9	4,00E+06	88
10	2,33E+06	1
11	2,80E+06	0
12	8,70E+05	0
13	3,04E+06	0
14	1,72E+06	0
15	3,52E+06	4
16	7,80E+06	11
PROMEDIO	4,09E+06	3,4E+02

En la tabla 27 del anexo 6, se presenta los valores calculados de la constante de velocidad de reacción K de coliformes fecales para los 16 días de experimentación, teniendo en cuenta la temperatura promedio para cada día.

En la tabla 25 del anexo 5, se presentan los valores del efluente de cada reactor diariamente para los 16 días de experimentación, para coliformes fecales en reactores considerados como tipo pistón.

Los resultados obtenidos teóricamente en el caso de la DBO_5 tanto para los reactores completamente mezclado como para el flujo tipo pistón son 0,9 y 0,7 mg/L, respectivamente. El valor experimental promedio obtenido es de 60 mg/L como promedio de los 16 días de muestreo. La diferencia existente entre los valores teóricos y el valor experimental es muy significativa.

Para el caso de coliformes fecales, los valores teóricos para los reactores completamente mezclado en serie es 592 UFC/100 ml y para los reactores de flujo tipo pistón es 341 UFC/100 ml. Si comparamos con el valor experimental de $6,74 \times 10^5$ UFC/100 mL, éste es muy superior a los valores teóricos.

La diferencia existente entre los valores calculados y los valores experimentales posiblemente se debe a que los reactores reales no se comportan como reactores ideales, tanto en el reactor completamente mezclado como en el reactor tipo pistón. Además, se puede atribuir a que los modelos matemáticos dependen de la constante de velocidad de remoción K.

5.2.5 Comparación con la normativa vigente para descarga en cuerpos de agua dulce.

Según el Acuerdo Ministerial No. 097- A publicado en el Registro Oficial 387 el 4 de noviembre del 2015, en el numeral 5.2.4 (tabla 9), los valores permisibles para descargar el efluente en un cuerpo de agua dulce son: 100 mg/L para DBO_5 y 2000 NMP/100mL para coliformes fecales.

En el caso de la DBO_5 , el valor medio del efluente es de 60 mg/L, por lo tanto si cumple con la normativa para descargar en un cuerpo de agua dulce, mientras que en el caso de coliformes fecales el valor medio del efluente es de $6,74 \times 10^5$ UFC/100 mL, valor que supera el límite permisible.

5.2.6 Comparación con la normativa vigente para uso del efluente en riego.

Según el Acuerdo Ministerial No. 097- A publicado en el Registro Oficial 387 el 4 de noviembre del 2015, en el numeral 5.1.3 (tabla No. 3), el límite permisible para coliformes fecales en aguas destinadas a uso agrícola es: 1000 NMP/100 mL. En el caso de coliformes fecales el valor medio del efluente es de $6,74 \times 10^5$ UFC/100 mL, valor que excede del límite permisible.

5.3 Recomendaciones para la operación de la planta.

Una vez realizado el análisis e interpretación de resultados, se puede determinar ciertas recomendaciones para mejorar la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento. A continuación se mencionará las más importantes.

- 1) Debido a que el efluente excede el estándar del Acuerdo Ministerial No. 097- A publicado en el Registro Oficial 387 del 4 de noviembre del 2015, para que el efluente sea utilizado como agua de riego se debe post-tratar (tratamiento terciario). Se podría realizar este tratamiento con lagunas de estabilización, para remover coliformes fecales y así evitar posibles enfermedades en la población que consume los productos agrícolas.
- 2) Debe implementarse un programa de monitoreo de la calidad del afluente y efluente, que permita controlar los parámetros de DBO₅, coliformes fecales (E. coli) y otros, según la normativa vigente para uso para riego agrícola.
- 3) Para mejorar la operación de la planta de tratamiento, se recomienda que se realice una limpieza anual de lodos de los estanques con jacinto de agua, según la recomendación de la (EPA, 1988).
- 4) Para evitar la acumulación de biomasa, se recomienda cosechar los estanques con jacinto de agua con una frecuencia de dos veces al mes, mientras que los estanques con lenteja de agua, mensualmente, según la recomendación de Water Environment Federation, American Society of Civil Engineers, Environmental & Water Resources Institute (2010).

- 5) Para controlar la presencia de mosquitos en la planta de tratamiento, se recomienda optimizar el pretratamiento, removiendo la mayor cantidad de sólidos suspendidos posibles, para reducir la carga orgánica y mantener las condiciones aeróbicas. La cosecha de las plantas con más frecuencia, ayudaría a reducir la presencia de mosquitos, ya que los mosquitos se desarrollan mayormente donde los jacintos de agua tienen una densidad alta.
- 6) Para monitorear la calidad del agua que ingresa y sale de la planta de tratamiento, se recomienda la implementación de un laboratorio básico que permita realizar los respectivos análisis de calidad del agua.
- 7) Según lo observado en las visitas realizadas, la biomasa cosechada se dispone en un área junto a los estanques del tratamiento secundario para su respectivo secado y podría constituirse en un foco de contaminación, debido a la acumulación de bacterias presentes en las raíces, es por esta razón que se recomienda que una vez que las plantas hayan pasado por la etapa de secado, estas sean dispuestas en un relleno sanitario o sean incineradas, según lo refiere Jorge Martelo (2012).
- 8) Para tener mejor control del caudal, se recomienda la implementación de un vertedero a la salida de la planta de tratamiento.
- 9) En la planta de tratamiento se encuentra un guardián-operador, el mismo que está a cargo del mantenimiento de la planta depuradora, por lo que se recomienda dotar de todos los implementos de seguridad como casco, mascarilla, guantes, botas, entre otros y un control de salud por medio de un examen general cada 6 meses, para que pueda realizar su labor de la mejor manera previniendo posibles enfermedades.
- 10) Se recomienda realizar la actualización del manual de operación y mantenimiento de la planta depuradora.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones.

- Los sistemas de tratamiento con macrófitas flotantes son investigados intensamente a nivel internacional y aún se requieren precisiones de algunos parámetros para predecir la calidad del efluente.
- Los valores experimentales medidos en el efluente no concuerdan con las predicciones de los modelos cinéticos teóricos.
- La planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura y Natabuela se encuentra operando con un caudal promedio de 10,30 L/s y la carga orgánica superficial promedio es 309,61 kg DBO₅/ha.d.
- El tiempo de retención teórico obtenido para los estanques con macrófitas flotantes de la planta depuradora es 6,39 días.
- Los resultados de los análisis realizados en el laboratorio tanto para DBO₅ y coliformes fecales (E. coli) en el afluente del tratamiento secundario fueron en promedio 138,4 mg/L y $4,1 \times 10^6$ UFC/100 ml, respectivamente.
- Los resultados de los análisis realizados en el laboratorio tanto para DBO₅ y coliformes fecales (E. coli) en el efluente del tratamiento secundario fueron en promedio 60 mg/L y $6,7 \times 10^5$ UFC/100 ml, respectivamente.
- El porcentaje de remoción de DBO₅ en el tratamiento secundario de la planta de tratamiento fue 57%.
- En el caso de coliformes fecales, el porcentaje de remoción en el tratamiento secundario de la planta de tratamiento fue 84%.
- Basado en los resultados obtenidos en el efluente, la planta de tratamiento de aguas residuales de las parroquias rurales Chaltura y Natabuela del cantón Antonio Ante de la provincia de Imbabura, si cumple con el estándar

de calidad para DBO_5 para descarga en cuerpos hídricos de agua dulce, más no el de coliformes fecales.

- Basado en los resultados obtenidos el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de las parroquias rurales Chaltura y Natabuela del cantón Antonio Ante de la provincia de Imbabura, no cumple con el estándar de calidad para uso como agua de riego, ya que su concentración de coliformes fecales excede el valor permisible según la normativa.

6.2 Recomendaciones.

- Continuar con las investigaciones relacionadas con el comportamiento de unidades de tratamiento secundario de aguas residuales utilizando macrófitas flotantes, con la finalidad de mejorar el conocimiento de este tipo de unidades de tratamiento.
- Realizar investigaciones en estaciones depuradoras con plantas acuáticas con el propósito de determinar constantes cinéticas y parámetros de diseño, con la finalidad de tener una herramienta más eficaz para predicción de la calidad del efluente.
- Post-tratar (tratamiento terciario), con algún sistema que mejore la calidad bacteriológica de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Chaltura y Natabuela para que cumpla con los estándares de calidad para uso como agua de riego, especialmente en lo relacionado con coliformes fecales (C.F.).
- Implementar un plan de monitoreo de agua cruda y tratada para conocer los niveles de contaminantes presentes en el agua residual del afluente y efluente de la planta de tratamiento.
- Realizar un manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, donde se especifique cómo se deben realizar los procesos de

limpieza, frecuencia de cosecha de las plantas acuáticas, monitoreo, entre otros.

- Dotar a la planta depuradora de dispositivos (vertederos) que permitan medir el caudal a la salida de la planta.
- Hacer un levantamiento de las características físicas de la planta de tratamiento, a fin de disponer de planos y especificaciones técnicas de la misma.
- Implementar las recomendaciones especificadas en el capítulo 5.3, tendientes a mejorar la operatividad de la planta de tratamiento.
- Entregar al guardián-operador que está a cargo del mantenimiento de la planta depuradora, los implementos de seguridad necesarios y planificar las medidas de control de salud ocupacional.

BIBLIOGRAFÍA

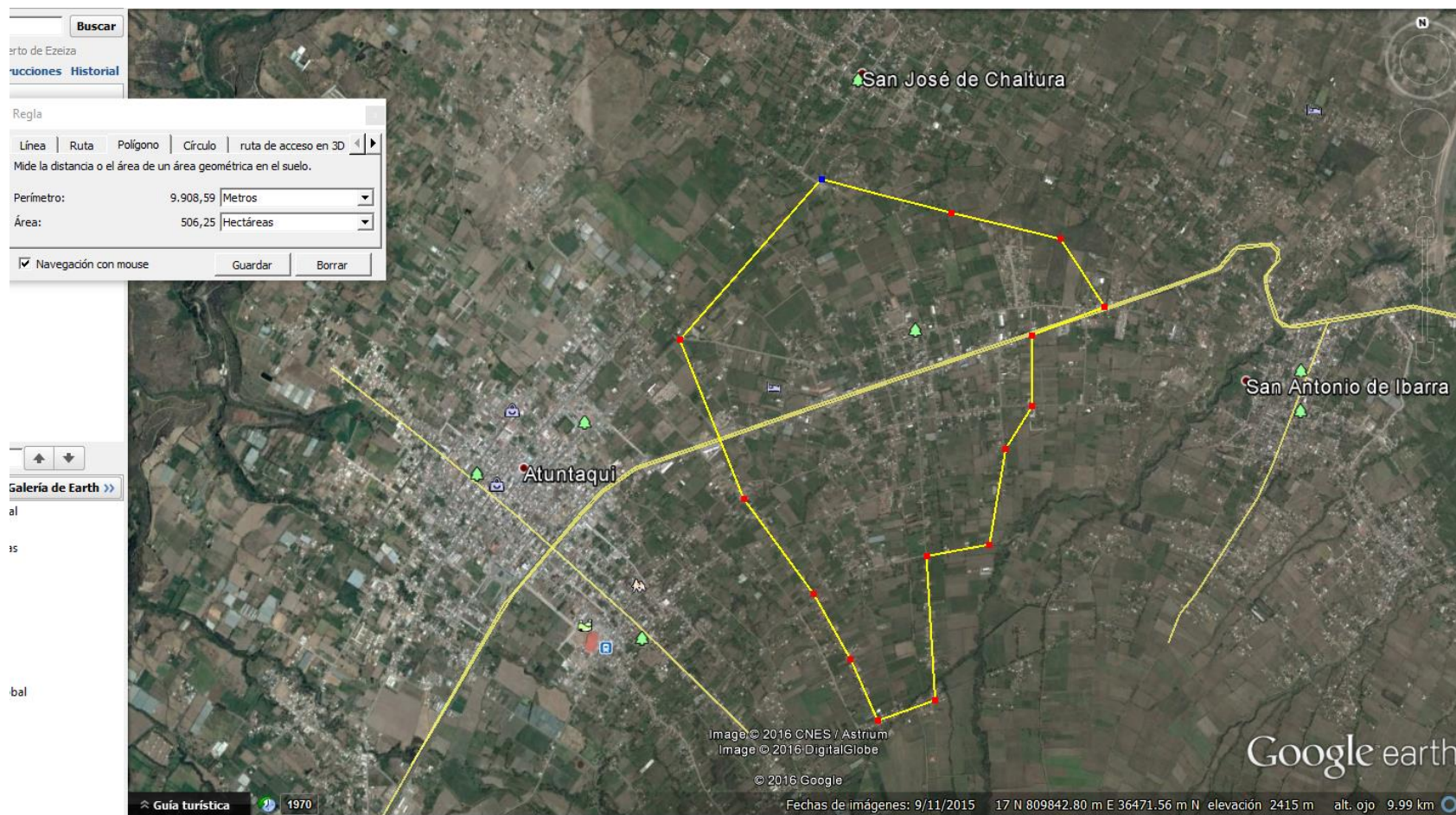
- REGISTRO OFICIAL DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. (4 de Noviembre de 2015). Edición especial Año III- N° 387. *Acuerdo Ministerial No. 097-A*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Adewumi, I., & Ogbiye, A. S. (2009). *Using water hyacinth (Eichhornia crassipes) to treat wastewater of a residential institution (Vol. 91)*. Ogun State, Nigeria: Taylor & Francis.
- Álvarez, M. (2008). *Diseño de los componentes del pretratamiento para la planta de tratamiento de Chaltura y Natabuela*. Atuntaqui- Ecuador: Hoja de excel.
- CONABIO. (2012). *Fichas de especie. Eichhornia crassipes. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*.
- Crites, & Tchobanoglous. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas*. Colombia, Bogotá: Mc Graw Hill.
- Crites, R. W., Middlebrooks, J. E., & Reed, S. C. (2006). *Natural Wastewater Treatment Systems*. E.E.U.U: Taylor & Francis Group .
- Dordio, A., Carvalho, P., & Pinto, A. P. (2008). *Wetlands: Water “living filters”?* Évora, Portugal: Nova Science Publishers.
- EPA. (1988). *Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. Cincinnati*. U:S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.
- EPA. (2010). *Method 1103.1: Escherichia coli (E. coli) in Water by Membrane Filtration Using membrane-Thermotolerant Escherichia coli Agar (mTEC)*. Washington, DC 20460. U:S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial de la parroquia San José de Chaltura 2015 – 2030*. Mayo 2015.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de San Francisco de Natabuela*. Mayo 2015.
- Hincapié, D. L. (2007). *Cinética e Hidrodinámica aplicadas, en condiciones ambientales locales, a humedales de flujo subsuperficial a escala piloto*. Colombia: Pregado de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- INAMHI. (2017). *Anuarios meteorológicos 2013, 2014 y 2015*. Quito- Ecuador.

- INEC. (2011). *Resultados Censo 2010 de Población y Vivienda en el Ecuador*. Quito.
- Mara, D. (2003). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Inglaterra, Londres: EARTHSCAN.
- Martelo, J., Jaime, A., & Borrero, L. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte (Vol. 8)*. Bogotá, Colombia.
- Metcalf, & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery (Vol. 1)*. New York, United States: Mc GrawHill.
- Moreno, L. (2003). *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno (fundamentos y casos prácticos)*. .
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (Vol. 1)*. France.
- Puga, M. (2010). *Modelo Hidráulico Físico de Vertederos como ayuda de Aprendizaje de la materia de Hidráulica*. Quito- Ecuador: Pregado , Escuela Politécnica del Ejercito.
- Romero, J. (1999). *Tratamiento de aguas residuales (teoría y principios de diseño)*. Colombia, Bogotá: Excuela Colombiana de Ingenieria.
- Rozkošný, M., Kriška, M., Šálek, J., Bodík, I., & Istenič, D. (2014). *Natural Technologies of Wastewater Treatment. Global Water Partnership Central and Eastern Europe*.
- Shahabaldin, R., Mohd Fadhil, M. D., Shazwin, M. T., & Farrah, A. (2016). *The efficient role of aquatic plant (water hyacinth) in treating domestic wastewater in continuous system (Vol. 18)*. Malaysia: Taylor & Francis Group.
- Texas Water Resources Institute. (1988). *Natural Wastewater Treatment Systems (Vol. 14)*. Texas United States: TWRI.
- Water Environment Federation, A. S. (2010). *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants (Fifth Edition ed., Vol. 1)*. Virginia. Virginia: MCGraw Hill.
- Zimmels, Y., Kirzhner, F., & Roitman, S. (2004). *Use of Naturally Growing Aquatic Plants for Wastewater Purification (Vol. 76)*. Water Environment Research .

Anexo 1

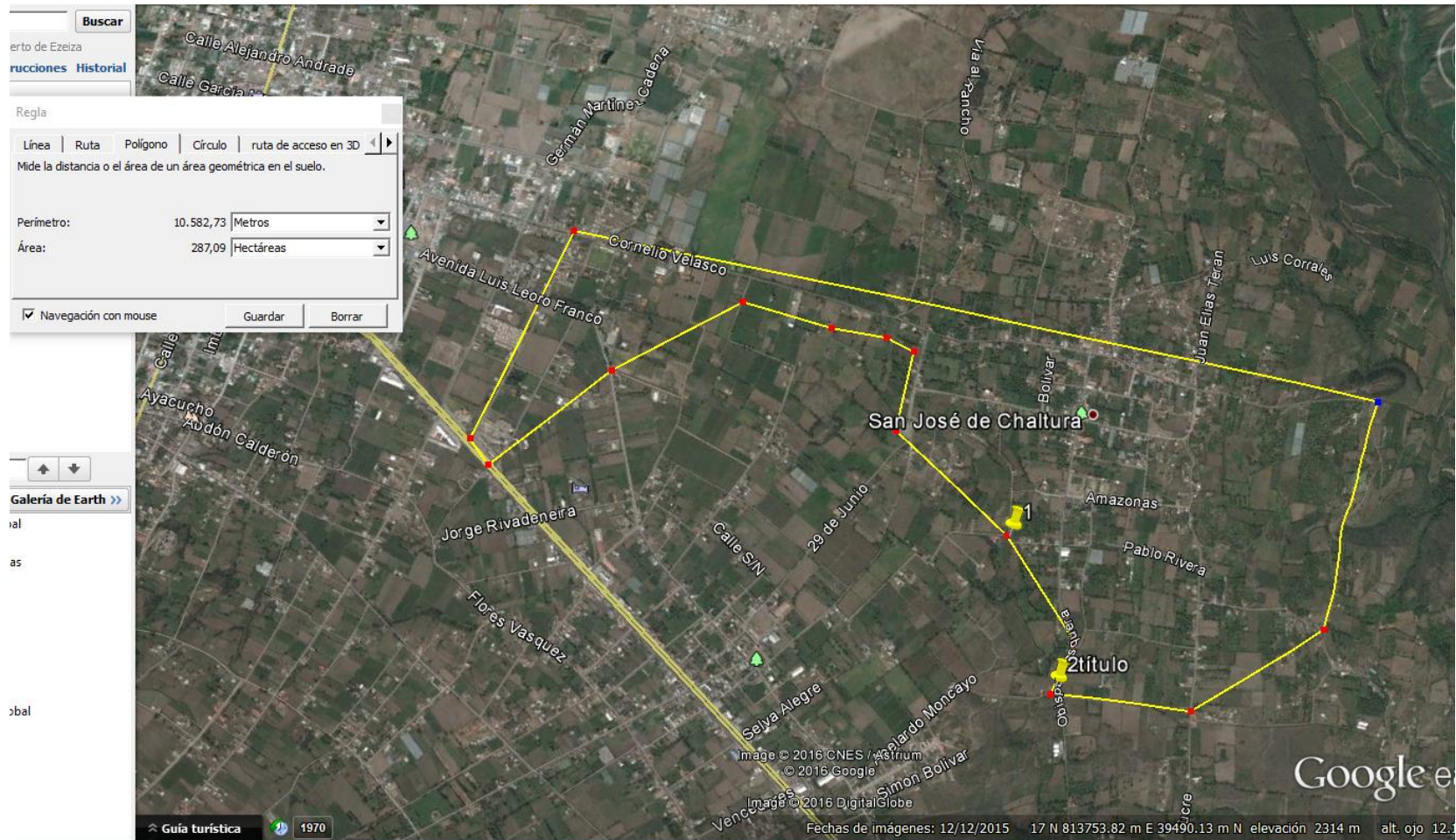
**Área de cobertura del sistema de
alcantarillado de Chaltura Y Natabuela.**

Mapa 1: Área de cobertura del sistema de alcantarillado en Natabuela.



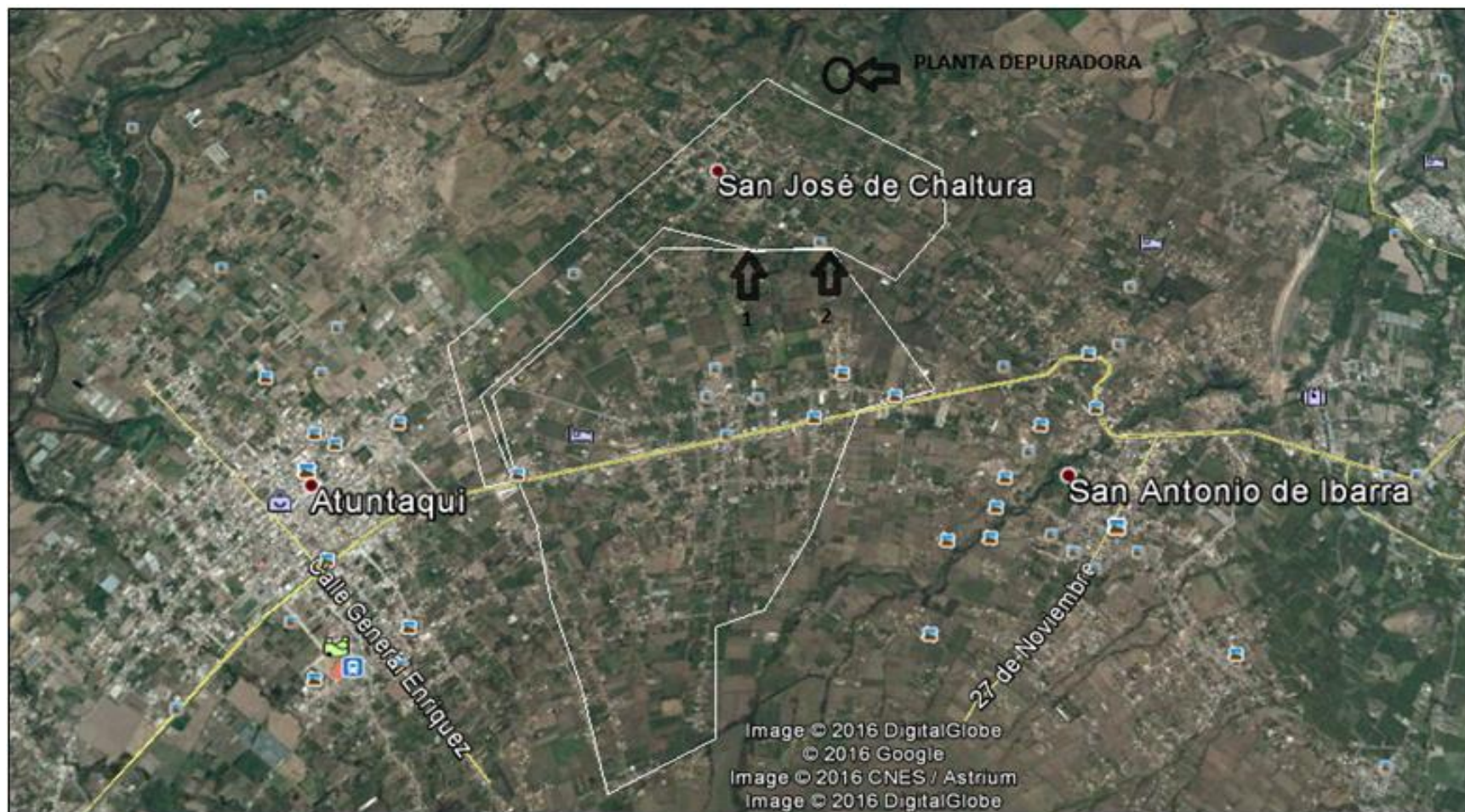
Fuente: Google Earth, 26 de Septiembre del 2016

Mapa 2: Área de cobertura del sistema de alcantarillado en Chaltura.



Fuente: Google Earth, 26 de Septiembre del 2016

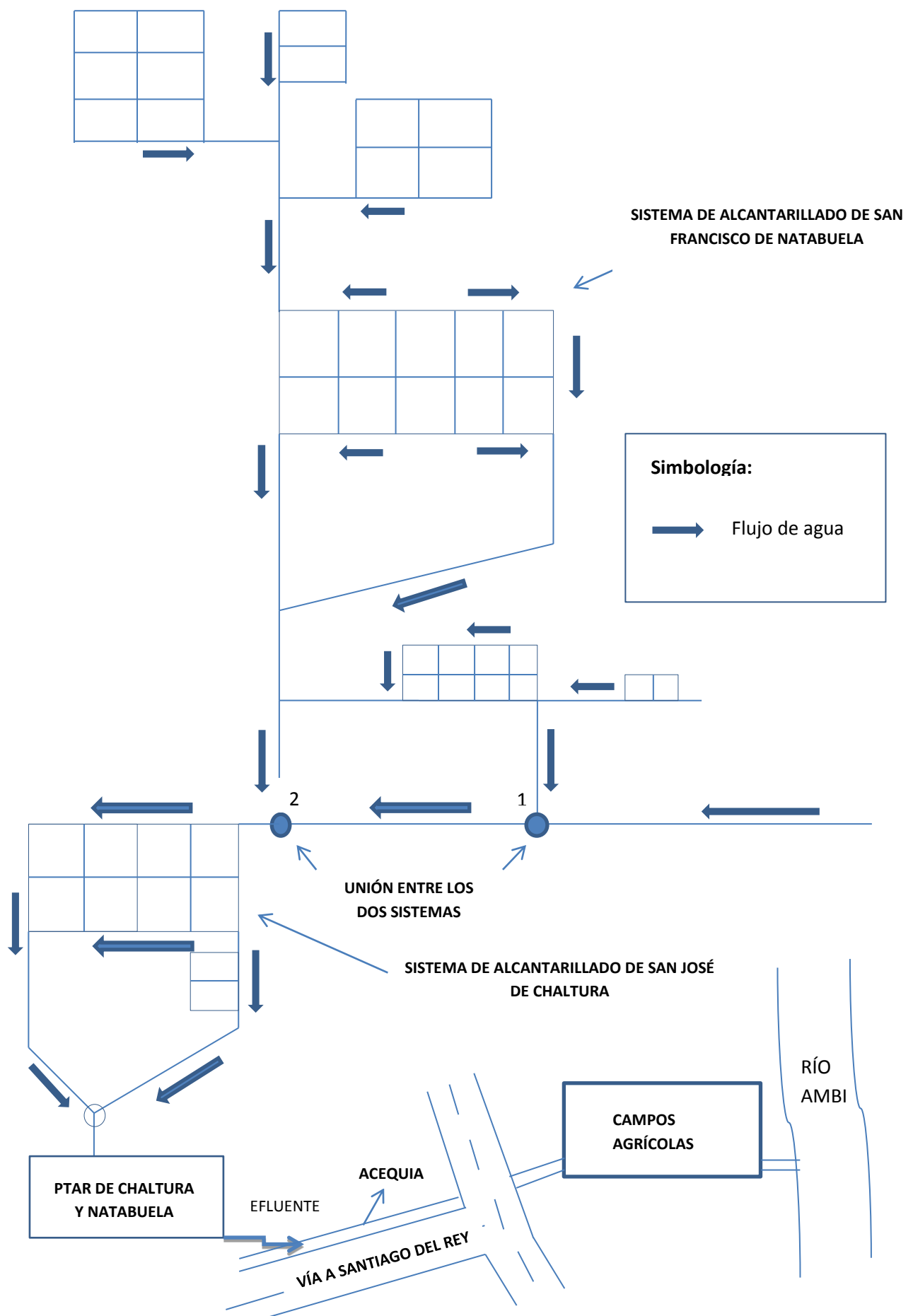
Mapa 3: Ubicación general de los dos sistemas de alcantarillado y de la planta depuradora.



Fuente: Google Earth, 15 de Febrero del 2017

Anexo 2

Esquema del sistema de alcantarillado de Chaltura y Natabuela.



Anexo 3

Datos tomados en campo.

LUNES 11 DE ENERO DEL 2016 (Día 1)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 12H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	21,2	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	22,3	
Temperatura del ambiente (°C):	22	
Medición de la regleta (cm):	12,4	
Humedad relativa (%):	21	
Caudal (Entrada) (lt/s):	7,59	
Caudal (Salida) (lt/s):	10	

MARTES 12 DE ENERO DEL 2016 (Día 2)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 07H00	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	19,7	NUBLADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	20,7	
Temperatura del ambiente (°C):	17	
Medición de la regleta (cm):	11,5	
Humedad relativa (%):	69	
Caudal (Entrada) (lt/s):	12,57	
Caudal (Salida) (lt/s):	10	

MIÉRCOLES 13 DE ENERO DEL 2016 (Día 3)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 15H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20,4	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	21,4	
Temperatura del ambiente (°C):	18	
Medición de la regleta (cm):	9	
Humedad relativa (%):	33,5	
Caudal (Entrada) (lt/s):	6,81	
Caudal (Salida) (lt/s):	10	

JUEVES 14 DE ENERO DEL 2016 (Día 4)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 12H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20,4	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	21,2	
Temperatura del ambiente (°C):	22	
Medición de la regleta (cm):	10,5	
Humedad relativa (%):	24,3	
Caudal (Entrada) (lt/s):	10,01	
Caudal (Salida) (lt/s):	10	

VIERNES 15 DE ENERO DEL 2016 (Día 5)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 12H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	21,2	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	20,6	
Temperatura del ambiente (°C):	22	
Medición de la regleta (cm):	11,5	
Humedad relativa (%):	20,2	
Caudal (Entrada) (lt/s):	12,57	
Caudal (Salida) (lt/s):	10	

LUNES 18 DE ENERO DEL 2016 (Día 6)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 12H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	21,3	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	19,9	
Temperatura del ambiente (°C):	23	
Medición de la regleta (cm):	10,2	
Humedad relativa (%):	21,2	
Caudal (Entrada) (lt/s):	9,31	
Caudal (Salida) (lt/s):	8,67	

MARTES 19 DE ENERO DEL 2016 (Día 7)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 07H00	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	16,4	
Temperatura del ambiente (°C):	13	
Medición de la regleta (cm):	13	
Humedad relativa (%):	55,6	
Caudal (Entrada) (lt/s):	17,07	
Caudal (Salida) (lt/s):	12,96	

MIÉRCOLES 20 DE ENERO DEL 2016 (Día 8)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 15H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20,7	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	21	
Temperatura del ambiente (°C):	22	
Medición de la regleta (cm):	12,3	
Humedad relativa (%):	29,6	
Caudal (Entrada) (lt/s):	14,87	
Caudal (Salida) (lt/s):	14	

JUEVES 21 DE ENERO DEL 2016 (Día 9)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 07H00	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20,1	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	20,1	
Temperatura del ambiente (°C):	13	
Medición de la regleta (cm):	12	
Humedad relativa (%):	31,9	
Caudal (Entrada) (lt/s):	13,98	
Caudal (Salida) (lt/s):	15,5	

VIERNES 22 DE ENERO DEL 2016 (Día 10)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 07H00	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20,7	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	19,7	
Temperatura del ambiente (°C):	13	
Medición de la regleta (cm):	10,5	
Humedad relativa (%):	35,6	
Caudal (Entrada) (lt/s):	10,01	
Caudal (Salida) (lt/s):	10	

LUNES 25 DE ENERO DEL 2016 (Día 11)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 12H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20,2	LLUVIOSO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	20,4	
Temperatura del ambiente (°C):	16	
Medición de la regleta (cm):	10,1	
Humedad relativa (%):	31,6	
Caudal (Entrada) (lt/s):	9,08	
Caudal (Salida) (lt/s):	12	

MARTES 26 DE ENERO DEL 2016 (Día 12)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 07H00	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20,2	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	19,5	
Temperatura del ambiente (°C):	17	
Medición de la regleta (cm):	10,2	
Humedad relativa (%):	25	
Caudal (Entrada) (lt/s):	4,65	
Caudal (Salida) (lt/s):	8,11	

MIÉRCOLES 27 DE ENERO DEL 2016 (Día 13)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 15H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20,8	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	20,1	
Temperatura del ambiente (°C):	28	
Medición de la regleta (cm):	9,5	
Humedad relativa (%):	20,1	
Caudal (Entrada) (lt/s):	3,90	
Caudal (Salida) (lt/s):	3,79	

JUEVES 28 DE ENERO DEL 2016 (Día 14)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 15H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	21,9	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	19,9	
Temperatura del ambiente (°C):	24	
Medición de la regleta (cm):	13,8	
Humedad relativa (%):	22,1	
Caudal (Entrada) (lt/s):	9,91	
Caudal (Salida) (lt/s):	6,26	

VIERNES 29 DE ENERO DEL 2016 (Día 15)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 15H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	20,1	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	20,4	
Temperatura del ambiente (°C):	20	
Medición de la regleta (cm):	14,5	
Humedad relativa (%):	21	
Caudal (Entrada) (lt/s):	11,22	
Caudal (Salida) (lt/s):	9,8	

LUNES 12 DE SEPTIEMBRE DEL 2016 (Día 16)		
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PARROQUIAS CHALTURA Y NATABUELA	HORA: 12H30	OBSERVACIÓN
Temperatura del agua (Entrada) (°C):	19,8	SOLEADO
Temperatura del agua (Salida) (°C):	20,5	
Temperatura del ambiente (°C):	17	
Medición de la regleta (cm):	11	
Humedad relativa (%):	30,1	
Caudal (Entrada) (lt/s):	11,24	
Caudal (Salida) (lt/s):	12	

Anexo 4

Cálculo del área superficial de la planta depuradora y tiempos de retención (días).

Tabla 20: CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LA PLANTA DEPURADORA.

$$\text{Área superficial total (m}^2\text{)} = \sum_{i=1}^{i=38} \text{largo}_i \text{ (m)} * \text{ancho}_i \text{ (m)}$$

$$\text{Área superficial total (ha)} = \text{Área superficial total (m}^2\text{)} * \frac{1 \text{ ha}}{10000 \text{ m}^2}$$

LARGO (m)	ANCHO (m)	# DE ESTANQUES	PLATAFORMA	ÁREA SUPERFICIAL TOTAL (m2)
28,7	3,5	1	ATUNTAQUI	100,45
38,2	3,0	4	ATUNTAQUI	458,40
41,7	3,0	3	ATUNTAQUI	375,30
38,0	3,0	3	CHALTURA	342,00
38,0	2,1	1	CHALTURA	79,80
38,4	3,0	2	CHALTURA	230,40
36,0	3,0	1	CHALTURA	108,00
38,4	2,1	1	CHALTURA	80,64
36,0	3,0	3	IMBAYA	324,00
36,6	3,0	3	IMBAYA	329,40
34,2	3,0	3	NATABUELA	307,80
34,2	2,0	1	NATABUELA	68,40
37,1	3,0	3	NATABUELA	333,90
37,1	2,0	1	NATABUELA	74,20
36,5	2,9	1	SAN ROQUE	105,85
34,9	2,9	1	SAN ROQUE	101,21
26,4	2,9	2	SAN ROQUE	153,12
35,0	2,9	4	SAN ROQUE	406,00
SUMA TOTAL				3.978,87
ÁREA SUPERFICIAL TOTAL (ha)				0,397887

Tabla 21: TIEMPOS DE RETENCIÓN PARA LOS 38 REACTORES PARA CADA DÍA.

REACTOR	DÍA															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0,191	0,116	0,213	0,145	0,116	0,156	0,085	0,098	0,104	0,145	0,160	0,313	0,373	0,147	0,130	0,129
2	0,218	0,132	0,243	0,166	0,132	0,178	0,097	0,111	0,119	0,166	0,183	0,357	0,425	0,167	0,148	0,148
3	0,238	0,144	0,266	0,181	0,144	0,194	0,106	0,122	0,129	0,181	0,199	0,389	0,464	0,183	0,161	0,161
4	0,218	0,132	0,243	0,166	0,132	0,178	0,097	0,111	0,119	0,166	0,183	0,357	0,425	0,167	0,148	0,148
5	0,238	0,144	0,266	0,181	0,144	0,194	0,106	0,122	0,129	0,181	0,199	0,389	0,464	0,183	0,161	0,161
6	0,218	0,132	0,243	0,166	0,132	0,178	0,097	0,111	0,119	0,166	0,183	0,357	0,425	0,167	0,148	0,148
7	0,238	0,144	0,266	0,181	0,144	0,194	0,106	0,122	0,129	0,181	0,199	0,389	0,464	0,183	0,161	0,161
8	0,218	0,132	0,243	0,166	0,132	0,178	0,097	0,111	0,119	0,166	0,183	0,357	0,425	0,167	0,148	0,148
9	0,209	0,126	0,233	0,158	0,126	0,170	0,093	0,106	0,113	0,158	0,174	0,341	0,406	0,160	0,141	0,141
10	0,211	0,127	0,235	0,160	0,127	0,172	0,094	0,108	0,114	0,160	0,176	0,344	0,410	0,161	0,143	0,142
11	0,209	0,126	0,233	0,158	0,126	0,170	0,093	0,106	0,113	0,158	0,174	0,341	0,406	0,160	0,141	0,141
12	0,211	0,127	0,235	0,160	0,127	0,172	0,094	0,108	0,114	0,160	0,176	0,344	0,410	0,161	0,143	0,142
13	0,209	0,126	0,233	0,158	0,126	0,170	0,093	0,106	0,113	0,158	0,174	0,341	0,406	0,160	0,141	0,141
14	0,198	0,119	0,220	0,150	0,119	0,161	0,088	0,101	0,107	0,150	0,165	0,323	0,385	0,151	0,134	0,133
15	0,146	0,088	0,163	0,111	0,088	0,119	0,065	0,075	0,079	0,111	0,122	0,238	0,284	0,112	0,099	0,099
16	0,148	0,089	0,164	0,112	0,089	0,120	0,066	0,075	0,080	0,112	0,123	0,241	0,287	0,113	0,100	0,100
17	0,198	0,119	0,220	0,150	0,119	0,161	0,088	0,101	0,107	0,150	0,165	0,323	0,385	0,151	0,134	0,133
18	0,201	0,121	0,224	0,152	0,121	0,164	0,089	0,103	0,109	0,152	0,168	0,328	0,391	0,154	0,136	0,136
19	0,198	0,119	0,220	0,150	0,119	0,161	0,088	0,101	0,107	0,150	0,165	0,323	0,385	0,151	0,134	0,133
20	0,201	0,121	0,224	0,152	0,121	0,164	0,089	0,103	0,109	0,152	0,168	0,328	0,391	0,154	0,136	0,136
21	0,198	0,119	0,220	0,150	0,119	0,161	0,088	0,101	0,107	0,150	0,165	0,323	0,385	0,151	0,134	0,133
22	0,201	0,121	0,224	0,152	0,121	0,164	0,089	0,103	0,109	0,152	0,168	0,328	0,391	0,154	0,136	0,136
23	0,180	0,109	0,201	0,136	0,109	0,147	0,080	0,092	0,098	0,136	0,150	0,294	0,350	0,138	0,122	0,121
24	0,195	0,118	0,218	0,148	0,118	0,159	0,087	0,100	0,106	0,148	0,163	0,319	0,380	0,149	0,132	0,132
25	0,180	0,109	0,201	0,136	0,109	0,147	0,080	0,092	0,098	0,136	0,150	0,294	0,350	0,138	0,122	0,121
26	0,195	0,118	0,218	0,148	0,118	0,159	0,087	0,100	0,106	0,148	0,163	0,319	0,380	0,149	0,132	0,132
27	0,180	0,109	0,201	0,136	0,109	0,147	0,080	0,092	0,098	0,136	0,150	0,294	0,350	0,138	0,122	0,121
28	0,195	0,118	0,218	0,148	0,118	0,159	0,087	0,100	0,106	0,148	0,163	0,319	0,380	0,149	0,132	0,132
29	0,120	0,072	0,134	0,091	0,072	0,098	0,053	0,061	0,065	0,091	0,100	0,196	0,233	0,092	0,081	0,081
30	0,130	0,079	0,145	0,099	0,079	0,106	0,058	0,066	0,071	0,099	0,109	0,212	0,253	0,100	0,088	0,088
31	0,218	0,132	0,243	0,165	0,132	0,178	0,097	0,111	0,118	0,165	0,182	0,356	0,424	0,167	0,147	0,147
32	0,209	0,126	0,233	0,158	0,126	0,170	0,093	0,107	0,113	0,158	0,175	0,341	0,407	0,160	0,141	0,141
33	0,208	0,126	0,232	0,158	0,126	0,170	0,093	0,106	0,113	0,158	0,174	0,340	0,405	0,160	0,141	0,141
34	0,209	0,126	0,233	0,158	0,126	0,170	0,093	0,107	0,113	0,158	0,175	0,341	0,407	0,160	0,141	0,141
35	0,158	0,095	0,176	0,120	0,095	0,128	0,070	0,080	0,086	0,120	0,132	0,257	0,307	0,121	0,107	0,106
36	0,209	0,126	0,233	0,158	0,126	0,170	0,093	0,107	0,113	0,158	0,175	0,341	0,407	0,160	0,141	0,141
37	0,158	0,095	0,176	0,120	0,095	0,128	0,070	0,080	0,086	0,120	0,132	0,257	0,307	0,121	0,107	0,106
38	0,209	0,126	0,233	0,158	0,126	0,170	0,093	0,107	0,113	0,158	0,175	0,341	0,407	0,160	0,141	0,141

Anexo 5

Predicción de la calidad del efluente en los reactores completamente mezclados y tipo pistón para DBO_5 y C.F.

Tabla 22: DBO₅ CALCULADA EN EL EFLUENTE DE CADA REACTOR PARA REACTORES COMPLETAMENTE MEZCLADOS EN SERIE.

	DÍA															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DBO_{5o}	145	100	85	90	125	95	100	220	140	120	130	225	120	125	190	205
REACTOR																
1	117,6	88,6	68,1	77,1	110,2	80,7	92,2	197,7	125,6	103,3	110,2	167,8	84,5	106,8	166,0	179,3
2	92,9	77,3	53,1	64,7	95,6	67,1	84,1	175,1	111,0	87,2	91,5	120,8	57,1	89,5	142,5	154,1
3	72,0	66,6	40,6	53,6	81,9	54,9	76,1	153,5	97,1	72,6	74,8	84,8	37,4	73,8	120,8	130,7
4	56,8	58,1	31,7	45,0	71,1	45,6	69,5	136,0	85,8	61,3	62,1	61,1	25,3	61,9	103,7	112,3
5	44,0	50,0	24,2	37,2	60,9	37,4	62,9	119,2	75,1	51,0	50,8	42,9	16,6	51,0	87,8	95,3
6	34,8	43,6	18,9	31,3	52,8	31,1	57,3	105,6	66,4	43,1	42,2	30,9	11,2	42,8	75,4	81,9
7	27,0	37,6	14,4	25,9	45,3	25,4	51,9	92,6	58,0	35,9	34,5	21,7	7,4	35,3	63,9	69,5
8	21,3	32,8	11,3	21,7	39,3	21,1	47,3	82,0	51,3	30,3	28,6	15,6	5,0	29,6	54,9	59,7
9	17,0	28,8	8,9	18,4	34,3	17,7	43,4	73,0	45,6	25,8	24,0	11,4	3,4	24,9	47,4	51,6
10	13,5	25,2	7,0	15,5	29,9	14,8	39,7	64,9	40,5	21,9	20,0	8,3	2,3	21,0	40,9	44,6
11	10,8	22,1	5,5	13,1	26,1	12,4	36,3	57,8	36,0	18,6	16,7	6,0	1,6	17,7	35,3	38,6
12	8,6	19,4	4,3	11,1	22,7	10,4	33,2	51,4	31,9	15,8	14,0	4,4	1,1	14,9	30,5	33,3
13	6,8	17,0	3,4	9,4	19,8	8,7	30,4	45,8	28,4	13,4	11,7	3,2	0,7	12,6	26,3	28,8
14	5,5	15,0	2,7	8,0	17,4	7,3	28,0	41,0	25,4	11,5	9,9	2,4	0,5	10,7	22,9	25,1
15	4,7	13,6	2,3	7,1	15,8	6,5	26,3	37,8	23,3	10,2	8,7	1,9	0,4	9,5	20,6	22,6
16	4,0	12,4	1,9	6,3	14,3	5,7	24,7	34,7	21,4	9,1	7,6	1,5	0,3	8,4	18,6	20,4
17	3,2	11,0	1,5	5,4	12,6	4,8	22,7	31,1	19,1	7,8	6,4	1,1	0,2	7,1	16,2	17,7
18	2,6	9,7	1,2	4,6	11,0	4,1	20,9	27,8	17,1	6,7	5,4	0,8	0,1	6,1	14,0	15,4
19	2,1	8,5	1,0	3,9	9,7	3,4	19,2	24,9	15,3	5,7	4,6	0,6	0,1	5,2	12,2	13,4
20	1,7	7,5	0,8	3,3	8,5	2,9	17,7	22,3	13,6	4,9	3,9	0,4	0,1	4,4	10,6	11,7
21	1,3	6,6	0,6	2,8	7,5	2,4	16,2	19,9	12,2	4,2	3,3	0,3	0,0	3,7	9,2	10,2
22	1,1	5,8	0,5	2,4	6,5	2,1	14,9	17,8	10,9	3,6	2,7	0,2	0,0	3,2	8,0	8,8
23	0,9	5,2	0,4	2,1	5,8	1,8	13,8	16,1	9,8	3,1	2,3	0,2	0,0	2,7	7,0	7,8
24	0,7	4,6	0,3	1,8	5,1	1,5	12,7	14,5	8,8	2,7	2,0	0,1	0,0	2,3	6,1	6,8
25	0,6	4,1	0,3	1,5	4,5	1,3	11,8	13,1	7,9	2,3	1,7	0,1	0,0	2,0	5,4	6,0
26	0,5	3,6	0,2	1,3	4,0	1,1	10,9	11,7	7,1	2,0	1,4	0,1	0,0	1,7	4,7	5,2
27	0,4	3,2	0,2	1,1	3,5	0,9	10,1	10,6	6,4	1,7	1,2	0,1	0,0	1,5	4,2	4,6
28	0,3	2,9	0,1	1,0	3,1	0,8	9,3	9,5	5,7	1,5	1,0	0,0	0,0	1,3	3,6	4,0
29	0,3	2,7	0,1	0,9	2,9	0,7	8,8	8,9	5,3	1,3	0,9	0,0	0,0	1,1	3,3	3,7
30	0,2	2,4	0,1	0,8	2,6	0,6	8,3	8,2	5,0	1,2	0,8	0,0	0,0	1,0	3,0	3,4
31	0,2	2,1	0,1	0,7	2,3	0,5	7,6	7,3	4,4	1,0	0,7	0,0	0,0	0,9	2,6	2,9
32	0,1	1,9	0,1	0,6	2,0	0,4	7,0	6,5	3,9	0,9	0,6	0,0	0,0	0,7	2,2	2,5
33	0,1	1,6	0,0	0,5	1,7	0,4	6,4	5,8	3,5	0,7	0,5	0,0	0,0	0,6	1,9	2,2
34	0,1	1,4	0,0	0,4	1,5	0,3	5,8	5,2	3,1	0,6	0,4	0,0	0,0	0,5	1,7	1,9
35	0,1	1,3	0,0	0,3	1,4	0,3	5,5	4,7	2,8	0,6	0,4	0,0	0,0	0,4	1,5	1,7
36	0,1	1,1	0,0	0,3	1,2	0,2	5,0	4,2	2,5	0,5	0,3	0,0	0,0	0,4	1,3	1,4
37	0,1	1,0	0,0	0,3	1,1	0,2	4,7	3,8	2,3	0,4	0,3	0,0	0,0	0,3	1,2	1,3
38	0,0	0,9	0,0	0,2	0,9	0,2	4,3	3,4	2,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,3	1,0	1,1

Tabla 23: CONCENTRACIÓN CALCULADA DE COLIFORMES FECALIS (E. COLI) EN EL EFLUENTE DE CADA REACTOR PARA REACTORES COMPLETAMENTE MEZCLADOS EN SERIE.

	DÍA															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cfo	5,2E+06	5,1E+06	1,7E+06	4,0E+06	5,7E+06	6,0E+06	2,9E+06	8,8E+06	4,0E+06	2,3E+06	2,8E+06	8,7E+05	3,0E+06	1,7E+06	3,5E+06	7,8E+06
REACTOR																
1	3,1E+06	3,9E+06	1,0E+06	2,8E+06	4,2E+06	4,1E+06	2,5E+06	6,8E+06	3,1E+06	1,7E+06	1,9E+06	4,9E+05	1,5E+06	1,2E+06	2,6E+06	5,8E+06
2	1,8E+06	2,9E+06	6,3E+05	1,9E+06	3,0E+06	2,7E+06	2,1E+06	5,1E+06	2,4E+06	1,2E+06	1,3E+06	2,6E+05	6,8E+05	7,9E+05	1,9E+06	4,2E+06
3	9,5E+05	2,1E+06	3,7E+05	1,2E+06	2,1E+06	1,8E+06	1,7E+06	3,7E+06	1,8E+06	7,8E+05	8,4E+05	1,3E+05	2,9E+05	5,1E+05	1,3E+06	2,9E+06
4	5,4E+05	1,5E+06	2,2E+05	8,2E+05	1,5E+06	1,2E+06	1,5E+06	2,8E+06	1,4E+06	5,4E+05	5,6E+05	6,8E+04	1,3E+05	3,4E+05	9,2E+05	2,1E+06
5	2,9E+05	1,1E+06	1,3E+05	5,3E+05	1,0E+06	7,4E+05	1,2E+06	2,0E+06	1,0E+06	3,6E+05	3,6E+05	3,4E+04	5,8E+04	2,2E+05	6,4E+05	1,5E+06
6	1,7E+05	8,1E+05	7,8E+04	3,6E+05	7,4E+05	4,9E+05	1,0E+06	1,5E+06	7,7E+05	2,5E+05	2,4E+05	1,8E+04	2,6E+04	1,4E+05	4,6E+05	1,0E+06
7	9,0E+04	5,8E+05	4,6E+04	2,3E+05	5,2E+05	3,1E+05	8,6E+05	1,1E+06	5,7E+05	1,7E+05	1,6E+05	9,0E+03	1,1E+04	9,2E+04	3,2E+05	7,3E+05
8	5,1E+04	4,3E+05	2,8E+04	1,5E+05	3,7E+05	2,1E+05	7,3E+05	8,3E+05	4,4E+05	1,2E+05	1,0E+05	4,7E+03	5,2E+03	6,1E+04	2,3E+05	5,3E+05
9	2,9E+04	3,2E+05	1,7E+04	1,0E+05	2,7E+05	1,4E+05	6,2E+05	6,3E+05	3,3E+05	8,2E+04	7,0E+04	2,5E+03	2,4E+03	4,1E+04	1,6E+05	3,8E+05
10	1,7E+04	2,4E+05	1,0E+04	7,1E+04	1,9E+05	9,3E+04	5,2E+05	4,8E+05	2,6E+05	5,7E+04	4,7E+04	1,4E+03	1,1E+03	2,8E+04	1,2E+05	2,8E+05
11	9,7E+03	1,8E+05	6,4E+03	4,8E+04	1,4E+05	6,2E+04	4,5E+05	3,6E+05	2,0E+05	4,0E+04	3,2E+04	7,3E+02	5,3E+02	1,9E+04	8,6E+04	2,0E+05
12	5,5E+03	1,3E+05	3,9E+03	3,3E+04	1,0E+05	4,2E+04	3,8E+05	2,7E+05	1,5E+05	2,8E+04	2,2E+04	3,9E+02	2,5E+02	1,2E+04	6,2E+04	1,5E+05
13	3,2E+03	9,9E+04	2,4E+03	2,2E+04	7,3E+04	2,8E+04	3,2E+05	2,1E+05	1,2E+05	2,0E+04	1,5E+04	2,1E+02	1,1E+02	8,4E+03	4,5E+04	1,1E+05
14	1,9E+03	7,5E+04	1,5E+03	1,5E+04	5,3E+04	1,9E+04	2,8E+05	1,6E+05	9,1E+04	1,4E+04	1,0E+04	1,1E+02	5,5E+01	5,7E+03	3,3E+04	7,8E+04
15	1,2E+03	6,1E+04	1,0E+03	1,1E+04	4,2E+04	1,4E+04	2,4E+05	1,3E+05	7,5E+04	1,1E+04	7,6E+03	7,2E+01	3,1E+01	4,3E+03	2,6E+04	6,2E+04
16	8,2E+02	4,9E+04	7,3E+02	8,6E+03	3,3E+04	1,1E+04	2,2E+05	1,0E+05	6,2E+04	8,3E+03	5,7E+03	4,5E+01	1,7E+01	3,2E+03	2,0E+04	4,9E+04
17	4,8E+02	3,7E+04	4,6E+02	5,9E+03	2,4E+04	7,2E+03	1,9E+05	8,0E+04	4,8E+04	5,9E+03	3,9E+03	2,4E+01	8,1E+00	2,2E+03	1,5E+04	3,6E+04
18	2,8E+02	2,8E+04	2,8E+02	4,1E+03	1,8E+04	4,9E+03	1,6E+05	6,1E+04	3,8E+04	4,2E+03	2,7E+03	1,3E+01	3,9E+00	1,5E+03	1,1E+04	2,6E+04
19	1,7E+02	2,1E+04	1,8E+02	2,8E+03	1,3E+04	3,3E+03	1,4E+05	4,7E+04	2,9E+04	3,0E+03	1,8E+03	7,4E+00	1,9E+00	1,0E+03	8,0E+03	2,0E+04
20	9,7E+01	1,6E+04	1,1E+02	1,9E+03	9,5E+03	2,3E+03	1,2E+05	3,6E+04	2,3E+04	1,5E+03	1,3E+03	4,0E+00	8,9E-01	6,9E+02	5,8E+03	1,4E+04
21	5,7E+01	1,2E+04	7,0E+01	1,3E+03	7,0E+03	1,5E+03	1,0E+05	2,8E+04	1,8E+04	2,1E+03	8,7E+02	2,2E+00	4,3E-01	4,7E+02	4,3E+03	1,1E+04
22	3,4E+01	9,1E+03	4,4E+01	9,2E+02	5,1E+03	1,0E+03	8,6E+04	2,1E+04	1,4E+04	1,1E+03	5,9E+02	1,2E+00	2,0E-01	3,2E+02	3,1E+03	7,8E+03
23	2,1E+01	7,0E+03	2,8E+01	6,5E+02	3,8E+03	7,4E+02	7,4E+04	1,7E+04	1,1E+04	7,8E+02	4,2E+02	6,9E-01	1,0E-01	2,3E+02	2,3E+03	5,9E+03
24	1,2E+01	5,3E+03	1,8E+01	4,5E+02	2,8E+03	5,0E+02	6,4E+04	1,3E+04	8,5E+03	5,6E+02	2,9E+02	3,8E-01	4,9E-02	1,6E+02	1,7E+03	4,3E+03
25	7,4E+00	4,1E+03	1,2E+01	3,2E+02	2,1E+03	3,5E+02	5,5E+04	1,0E+04	6,8E+03	4,1E+02	2,1E+02	2,2E-01	2,5E-02	1,1E+02	1,3E+03	3,3E+03
26	4,4E+00	3,1E+03	7,3E+00	2,2E+02	1,6E+03	2,4E+02	4,8E+04	7,7E+03	5,3E+03	2,9E+02	1,4E+02	1,2E-01	1,2E-02	7,6E+01	9,6E+02	2,4E+03
27	2,7E+00	2,4E+03	4,8E+00	1,6E+02	1,2E+03	1,7E+02	4,1E+04	6,0E+03	4,2E+03	2,1E+02	1,0E+02	7,0E-02	6,1E-03	5,3E+01	7,2E+02	1,8E+03
28	1,6E+00	1,8E+03	3,0E+00	1,1E+02	8,6E+02	1,2E+02	3,5E+04	4,6E+03	3,3E+03	1,5E+02	7,0E+01	3,9E-02	2,9E-03	3,7E+01	5,3E+02	1,4E+03
29	1,1E+00	1,5E+03	2,2E+00	8,7E+01	7,1E+02	9,1E+01	3,2E+04	3,9E+03	2,8E+03	1,2E+02	5,5E+01	2,6E-02	1,8E-03	2,9E+01	4,3E+02	1,1E+03
30	7,7E-01	1,3E+03	1,6E+00	6,7E+01	5,7E+02	7,0E+01	2,9E+04	3,2E+03	2,4E+03	9,7E+01	4,2E+01	1,7E-02	1,0E-03	2,2E+01	3,5E+02	9,0E+02
31	4,4E-01	9,4E+02	9,6E-01	4,5E+01	4,1E+02	4,6E+01	2,4E+04	2,4E+03	1,8E+03	6,7E+01	2,8E+01	8,8E-03	4,7E-04	1,5E+01	2,5E+02	6,5E+02
32	2,5E-01	7,0E+02	5,9E-01	3,0E+01	2,9E+02	3,1E+01	2,1E+04	1,8E+03	1,4E+03	4,7E+01	1,9E+01	4,7E-03	2,2E-04	9,8E+00	1,8E+02	4,7E+02
33	1,4E-01	5,2E+02	3,6E-01	2,1E+01	2,1E+02	2,1E+01	1,8E+04	1,4E+03	1,1E+03	3,3E+01	1,3E+01	2,5E-03	1,0E-04	6,6E+00	1,3E+02	3,4E+02
34	8,3E-02	3,9E+02	2,2E-01	1,4E+01	1,5E+02	1,4E+01	1,5E+04	1,1E+03	8,2E+02	2,3E+01	8,7E+00	1,4E-03	4,8E-05	4,5E+00	9,4E+01	2,5E+02
35	5,4E-02	3,1E+02	1,5E-01	1,0E+01	1,2E+02	1,0E+01	1,3E+04	8,5E+02	6,7E+02	1,8E+01	6,4E+00	8,3E-04	2,6E-05	3,3E+00	7,3E+01	1,9E+02
36	3,1E-02	2,3E+02	9,3E-02	7,0E+00	8,6E+01	6,8E+00	1,1E+04	6,4E+02	5,1E+02	1,2E+01	4,3E+00	4,4E-04	1,2E-05	2,2E+00	5,3E+01	1,4E+02
37	2,0E-02	1,9E+02	6,3E-02	5,2E+00	6,7E+01	5,0E+00	9,9E+03	5,2E+02	4,2E+02	9,3E+00	3,2E+00	2,7E-04	6,5E-06	1,6E+00	4,1E+01	1,1E+02
38	1,1E-02	1,4E+02	3,9E-02	3,5E+00	4,8E+01	3,3E+00	8,4E+03	3,9E+02	3,2E+02	6,5E+00	2,1E+00	1,4E-04	3,0E-06	1,1E+00	3,0E+01	7,9E+01

Tabla 24: DBO₅ CALCULADA EN EL EFLUENTE DE CADA REACTOR PARA REACTORES TIPO PISTÓN.

	DÍA															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DBO_{5o}	145,0	100,0	85,0	90,0	125,0	95,0	100,0	220,0	140,0	120,0	130,0	225,0	120,0	125,0	190,0	205,0
REACTOR																
1	114,8	87,9	66,4	76,1	109,3	79,5	91,9	196,5	124,8	102,1	108,7	160,0	78,8	105,5	164,4	177,6
2	88,0	75,9	50,1	62,9	93,8	64,9	83,5	172,7	109,4	84,9	88,6	108,5	48,7	86,9	139,4	150,8
3	65,8	64,7	36,8	51,1	79,4	52,0	75,2	150,1	94,8	69,4	70,9	71,0	28,9	70,3	116,5	126,1
4	50,4	55,9	27,7	42,2	68,1	42,5	68,3	131,9	83,2	57,7	57,8	48,1	17,9	57,9	98,7	107,1
5	37,7	47,6	20,4	34,3	57,7	34,0	61,5	114,6	72,1	47,2	46,2	31,5	10,6	46,9	82,5	89,6
6	28,9	41,1	15,4	28,3	49,5	27,8	55,8	100,8	63,2	39,3	37,7	21,3	6,5	38,6	69,9	76,0
7	21,6	35,0	11,3	23,0	41,9	22,3	50,3	87,5	54,8	32,1	30,1	14,0	3,9	31,2	58,4	63,6
8	16,6	30,2	8,5	19,0	35,9	18,2	45,6	76,9	48,0	26,7	24,6	9,5	2,4	25,7	49,5	54,0
9	12,9	26,3	6,5	15,8	31,1	15,0	41,6	68,0	42,4	22,4	20,2	6,5	1,5	21,4	42,3	46,2
10	9,9	22,8	5,0	13,2	26,8	12,3	38,0	60,1	37,3	18,7	16,6	4,5	1,0	17,7	36,1	39,4
11	7,7	19,8	3,8	11,0	23,2	10,1	34,6	53,1	32,9	15,7	13,7	3,1	0,6	14,7	30,8	33,7
12	6,0	17,2	2,9	9,1	20,0	8,3	31,5	46,9	29,0	13,2	11,2	2,1	0,4	12,2	26,3	28,8
13	4,6	15,0	2,2	7,6	17,3	6,9	28,8	41,5	25,6	11,0	9,2	1,5	0,2	10,1	22,5	24,6
14	3,6	13,1	1,7	6,4	15,0	5,7	26,4	36,9	22,7	9,3	7,7	1,0	0,2	8,5	19,3	21,2
15	3,0	11,9	1,4	5,6	13,6	5,0	24,7	33,9	20,8	8,3	6,7	0,8	0,1	7,5	17,3	19,0
16	2,5	10,7	1,2	4,9	12,2	4,4	23,2	31,0	19,1	7,3	5,8	0,6	0,1	6,6	15,5	17,0
17	2,0	9,4	0,9	4,2	10,7	3,6	21,2	27,6	16,9	6,2	4,8	0,4	0,1	5,5	13,4	14,7
18	1,6	8,2	0,7	3,5	9,3	3,0	19,4	24,5	15,0	5,2	4,0	0,3	0,0	4,6	11,5	12,6
19	1,2	7,2	0,5	2,9	8,1	2,5	17,8	21,8	13,3	4,4	3,3	0,2	0,0	3,9	9,9	10,9
20	1,0	6,3	0,4	2,5	7,0	2,1	16,3	19,4	11,8	3,7	2,8	0,1	0,0	3,2	8,5	9,4
21	0,8	5,5	0,3	2,1	6,1	1,7	15,0	17,3	10,5	3,1	2,3	0,1	0,0	2,7	7,3	8,1
22	0,6	4,8	0,2	1,7	5,3	1,4	13,7	15,3	9,3	2,7	1,9	0,1	0,0	2,3	6,3	7,0
23	0,5	4,3	0,2	1,5	4,7	1,2	12,6	13,8	8,3	2,3	1,6	0,1	0,0	1,9	5,5	6,1
24	0,4	3,7	0,2	1,3	4,1	1,0	11,6	12,3	7,4	1,9	1,3	0,0	0,0	1,6	4,7	5,3
25	0,3	3,3	0,1	1,1	3,6	0,9	10,7	11,1	6,7	1,7	1,1	0,0	0,0	1,4	4,1	4,6
26	0,2	2,9	0,1	0,9	3,1	0,7	9,8	9,8	5,9	1,4	0,9	0,0	0,0	1,2	3,6	4,0
27	0,2	2,6	0,1	0,8	2,8	0,6	9,1	8,9	5,3	1,2	0,8	0,0	0,0	1,0	3,1	3,5
28	0,2	2,3	0,1	0,7	2,4	0,5	8,3	7,9	4,7	1,0	0,7	0,0	0,0	0,8	2,7	3,0
29	0,1	2,1	0,0	0,6	2,2	0,5	7,9	7,4	4,4	0,9	0,6	0,0	0,0	0,8	2,5	2,7
30	0,1	1,9	0,0	0,5	2,0	0,4	7,5	6,8	4,1	0,8	0,5	0,0	0,0	0,7	2,2	2,5
31	0,1	1,6	0,0	0,4	1,7	0,3	6,8	6,0	3,6	0,7	0,4	0,0	0,0	0,6	1,9	2,1
32	0,1	1,4	0,0	0,4	1,5	0,3	6,2	5,3	3,1	0,6	0,4	0,0	0,0	0,5	1,6	1,8
33	0,1	1,2	0,0	0,3	1,3	0,2	5,6	4,7	2,8	0,5	0,3	0,0	0,0	0,4	1,4	1,5
34	0,0	1,1	0,0	0,3	1,1	0,2	5,2	4,1	2,5	0,4	0,2	0,0	0,0	0,3	1,2	1,3
35	0,0	1,0	0,0	0,2	1,0	0,2	4,8	3,8	2,2	0,4	0,2	0,0	0,0	0,3	1,0	1,2
36	0,0	0,8	0,0	0,2	0,9	0,1	4,4	3,3	2,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,9	1,0
37	0,0	0,8	0,0	0,2	0,8	0,1	4,1	3,0	1,8	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	0,8	0,9
38	0,0	0,7	0,0	0,1	0,7	0,1	3,7	2,7	1,6	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,7	0,8

Tabla 25: CONCENTRACIÓN CALCULADA DE COLIFORMES FECALES (E. COLI) EN EL EFLUENTE DE CADA REACTOR PARA REACTORES TIPO PISTÓN.

	DÍA															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
CFo	5,2E+06	5,1E+06	1,7E+06	4,0E+06	5,7E+06	6,0E+06	2,9E+06	8,8E+06	4,0E+06	2,3E+06	2,8E+06	8,7E+05	3,0E+06	1,7E+06	3,5E+06	7,8E+06
REACTOR																
1	2,6E+06	3,7E+06	9,0E+05	2,6E+06	4,0E+06	3,8E+06	2,4E+06	6,5E+06	3,0E+06	1,6E+06	1,8E+06	3,9E+05	1,1E+06	1,1E+06	2,5E+06	5,5E+06
2	1,2E+06	2,6E+06	4,3E+05	1,6E+06	2,7E+06	2,3E+06	2,0E+06	4,7E+06	2,2E+06	1,0E+06	1,1E+06	1,6E+05	3,2E+05	6,6E+05	1,7E+06	3,7E+06
3	5,3E+05	1,8E+06	1,9E+05	9,3E+05	1,7E+06	1,3E+06	1,7E+06	3,2E+06	1,6E+06	6,2E+05	6,3E+05	6,0E+04	8,8E+04	3,8E+05	1,1E+06	2,4E+06
4	2,4E+05	1,2E+06	9,1E+04	5,7E+05	1,2E+06	7,8E+05	1,4E+06	2,3E+06	1,2E+06	4,0E+05	3,8E+05	2,4E+04	2,6E+04	2,3E+05	7,2E+05	1,6E+06
5	1,1E+05	8,4E+05	4,1E+04	3,3E+05	7,5E+05	4,5E+05	1,1E+06	1,6E+06	8,2E+05	2,4E+05	2,2E+05	9,0E+03	7,2E+03	1,3E+05	4,6E+05	1,1E+06
6	4,9E+04	5,9E+05	1,9E+04	2,0E+05	5,0E+05	2,7E+05	9,4E+05	1,1E+06	6,0E+05	1,6E+05	1,4E+05	3,7E+03	2,2E+03	7,9E+04	3,1E+05	7,2E+05
7	2,1E+04	4,0E+05	8,6E+03	1,2E+05	3,2E+05	1,5E+05	7,7E+05	7,9E+05	4,2E+05	9,6E+04	7,8E+04	1,4E+03	5,9E+02	4,5E+04	2,0E+05	4,7E+05
8	9,8E+03	2,8E+05	4,1E+03	7,1E+04	2,2E+05	9,1E+04	6,4E+05	5,7E+05	3,1E+05	6,1E+04	4,7E+04	5,5E+02	1,8E+02	2,7E+04	1,3E+05	3,2E+05
9	4,7E+03	2,0E+05	2,0E+03	4,5E+04	1,5E+05	5,6E+04	5,4E+05	4,1E+05	2,3E+05	4,0E+04	2,9E+04	2,3E+02	5,7E+01	1,7E+04	9,1E+04	2,2E+05
10	2,2E+03	1,4E+05	9,9E+02	2,8E+04	1,0E+05	3,4E+04	4,5E+05	3,0E+05	1,7E+05	2,6E+04	1,8E+04	9,8E+01	1,8E+01	1,0E+04	6,2E+04	1,5E+05
11	1,1E+03	1,0E+05	4,9E+02	1,7E+04	6,9E+04	2,1E+04	3,8E+05	2,2E+05	1,3E+05	1,7E+04	1,1E+04	4,1E+01	5,7E+00	6,3E+03	4,2E+04	1,0E+05
12	5,1E+02	7,2E+04	2,4E+02	1,1E+04	4,7E+04	1,3E+04	3,1E+05	1,6E+05	9,3E+04	1,1E+04	7,0E+03	1,7E+01	1,8E+00	3,9E+03	2,9E+04	7,0E+04
13	2,4E+02	5,1E+04	1,2E+02	6,7E+03	3,2E+04	7,7E+03	2,6E+05	1,1E+05	6,9E+04	7,2E+03	4,3E+03	7,3E+00	5,8E-01	2,4E+03	2,0E+04	4,8E+04
14	1,2E+02	3,7E+04	6,1E+01	4,3E+03	2,2E+04	4,9E+03	2,2E+05	8,3E+04	5,2E+04	4,8E+03	2,7E+03	3,2E+00	2,0E-01	1,5E+03	1,4E+04	3,3E+04
15	7,2E+01	2,9E+04	3,7E+01	3,1E+03	1,7E+04	3,4E+03	2,0E+05	6,7E+04	4,2E+04	3,6E+03	2,0E+03	1,8E+00	8,8E-02	1,1E+03	1,0E+04	2,6E+04
16	4,3E+01	2,3E+04	2,2E+01	2,2E+03	1,3E+04	2,4E+03	1,7E+05	5,3E+04	3,4E+04	2,7E+03	1,4E+03	9,5E-01	3,9E-02	7,6E+02	7,9E+03	2,0E+04
17	2,1E+01	1,7E+04	1,1E+01	1,4E+03	9,0E+03	1,5E+03	1,5E+05	3,9E+04	2,6E+04	1,8E+03	8,9E+02	4,2E-01	1,3E-02	4,8E+02	5,5E+03	1,4E+04
18	1,1E+01	1,2E+04	5,8E+00	8,9E+02	6,2E+03	9,5E+02	1,2E+05	2,9E+04	1,9E+04	1,2E+03	5,6E+02	1,8E-01	4,4E-03	3,0E+02	3,8E+03	9,6E+03
19	5,3E+00	8,7E+03	3,0E+00	5,7E+02	4,3E+03	6,0E+02	1,1E+05	2,1E+04	1,4E+04	7,9E+02	3,6E+02	8,1E-02	1,5E-03	1,9E+02	2,6E+03	6,7E+03
20	2,6E+00	6,3E+03	1,5E+00	3,6E+02	3,0E+03	3,7E+02	8,9E+04	1,6E+04	1,1E+04	5,2E+02	2,3E+02	3,5E-02	5,0E-04	1,2E+02	1,8E+03	4,7E+03
21	1,3E+00	4,6E+03	7,7E-01	2,3E+02	2,1E+03	2,3E+02	7,5E+04	1,1E+04	8,1E+03	3,5E+02	1,4E+02	1,6E-02	1,7E-04	7,5E+01	1,3E+03	3,3E+03
22	6,4E-01	3,3E+03	3,9E-01	1,5E+02	1,4E+03	1,5E+02	6,3E+04	8,4E+03	6,1E+03	2,3E+02	9,1E+01	6,8E-03	5,7E-05	4,7E+01	8,8E+02	2,3E+03
23	3,4E-01	2,5E+03	2,1E-01	9,7E+01	1,0E+03	9,6E+01	5,4E+04	6,4E+03	4,7E+03	1,6E+02	6,0E+01	3,2E-03	2,1E-05	3,1E+01	6,3E+02	1,7E+03
24	1,7E-01	1,8E+03	1,1E-01	6,2E+01	7,2E+02	6,0E+01	4,6E+04	4,7E+03	3,6E+03	1,1E+02	3,8E+01	1,4E-03	7,3E-06	1,9E+01	4,4E+02	1,2E+03
25	9,0E-02	1,3E+03	5,9E-02	4,1E+01	5,2E+02	4,0E+01	4,0E+04	3,6E+03	2,8E+03	7,5E+01	2,5E+01	6,9E-04	2,7E-06	1,3E+01	3,2E+02	8,4E+02
26	4,5E-02	9,7E+02	3,1E-02	2,7E+01	3,6E+02	2,5E+01	3,4E+04	2,7E+03	2,1E+03	5,0E+01	1,6E+01	3,1E-04	9,3E-07	8,1E+00	2,2E+02	5,9E+02
27	2,4E-02	7,3E+02	1,7E-02	1,8E+01	2,6E+02	1,6E+01	2,9E+04	2,0E+03	1,6E+03	3,5E+01	1,1E+01	1,5E-04	3,5E-07	5,4E+00	1,6E+02	4,3E+02
28	1,2E-02	5,3E+02	8,6E-03	1,1E+01	1,8E+02	1,0E+01	2,4E+04	1,5E+03	1,2E+03	2,3E+01	6,9E+00	6,5E-05	1,2E-07	3,4E+00	1,1E+02	3,0E+02
29	7,9E-03	4,4E+02	5,7E-03	8,7E+00	1,5E+02	7,8E+00	2,2E+04	1,2E+03	1,0E+03	1,8E+01	5,2E+00	3,9E-05	6,2E-08	2,6E+00	8,9E+01	2,4E+02
30	5,0E-03	3,5E+02	3,7E-03	6,5E+00	1,1E+02	5,7E+00	2,0E+04	1,0E+03	8,5E+02	1,4E+01	3,9E+00	2,3E-05	3,1E-08	1,9E+00	7,0E+01	1,9E+02
31	2,3E-03	2,5E+02	1,8E-03	3,9E+00	7,7E+01	3,4E+00	1,6E+04	7,3E+02	6,2E+02	9,0E+00	2,4E+00	9,4E-06	9,3E-09	1,1E+00	4,7E+01	1,3E+02
32	1,1E-03	1,8E+02	8,7E-04	2,5E+00	5,3E+01	2,1E+00	1,4E+04	5,3E+02	4,6E+02	5,9E+00	1,5E+00	3,9E-06	3,0E-09	7,0E-01	3,2E+01	8,9E+01
33	5,3E-04	1,3E+02	4,3E-04	1,5E+00	3,6E+01	1,3E+00	1,2E+04	3,8E+02	3,4E+02	3,8E+00	9,1E-01	1,7E-06	9,4E-10	4,3E-01	2,2E+01	6,1E+01
34	2,5E-04	8,9E+01	2,1E-04	9,5E-01	2,4E+01	7,9E-01	9,7E+03	2,8E+02	2,5E+02	2,5E+00	5,6E-01	7,0E-07	3,0E-10	2,7E-01	1,5E+01	4,2E+01
35	1,5E-04	6,9E+01	1,2E-04	6,7E-01	1,8E+01	5,4E-01	8,5E+03	2,2E+02	2,0E+02	1,8E+00	3,9E-01	3,7E-07	1,3E-10	1,8E-01	1,1E+01	3,1E+01
36	7,0E-05	4,9E+01	6,1E-05	4,2E-01	1,2E+01	3,3E-01	7,1E+03	1,6E+02	1,5E+02	1,2E+00	2,4E-01	1,5E-07	4,1E-11	1,1E-01	7,6E+00	2,2E+01
37	4,0E-05	3,8E+01	3,6E-05	2,9E-01	9,3E+00	2,3E-01	6,2E+03	1,2E+02	1,2E+02	8,6E-01	1,7E-01	8,0E-08	1,7E-11	7,8E-02	5,7E+00	1,6E+01
38	1,9E-05	2,7E+01	1,8E-05	1,8E-01	6,4E+00	1,4E-01	5,2E+03	9,0E+01	8,8E+01	5,6E-01	1,0E-01	3,4E-08	5,5E-12	4,8E-02	3,9E+00	1,1E+01

Anexo 6

Constantes de velocidad de reacción para DBO₅ y C.F.

Tabla 26: CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REACCIÓN PARA DBO₅ EN LOS REACTORES COMPLETAMENTE MEZCLADO Y TIPO PISTÓN.

$$K_T (d^{-1}) = K_{20} * \theta^{T-20}$$

DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	21,8	20,2	20,9	20,8	20,9	20,6	18,2	20,9	20,1	20,2	20,3	19,9	20,5	20,9	20,3	20,2
K	1,21 81	1,1129	1,1592	1,1525	1,1592	1,1391	0,9905	1,1559	1,1064	1,1129	1,1194	1,0904	1,1292	1,1592	1,1161	1,1097

Tabla 27: CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REACCIÓN PARA COLIFORMES FECALIS EN LOS REACTORES COMPLETAMENTE MEZCLADO Y TIPO PISTÓN.

$$K_T (d^{-1}) = K_{20} * \theta^{T-20}$$

DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	21,8	20,2	20,9	20,8	20,9	20,6	18,2	20,9	20,1	20,2	20,3	19,9	20,5	20,9	20,3	20,2
K	3,52 52	2,692	3,0406	2,9882	3,0406	2,886	1,901	3,0143	2,6456	2,692	2,7393	2,533	2,8117	3,0406	2,7156	2,6687

Anexo 7

Resultados del laboratorio para DBO₅, coliformes totales y coliformes fecales (E. coli) y tipo de plantas acuáticas.



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 11/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			1E	1S	
DBO	mg/L	100	145,0	52	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	840×10^4	184×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	520×10^4	88×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 12/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			2E	2S	
DBO	mg/L	100	100,0	56	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	844×10^4	133×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	508×10^4	60×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 13/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
		Permisibles	Entrada	Salida	
		TULAS	3E	3S	
DBO	mg/L	100	85,0	60	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	508 x 10 ⁴	169 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	172 x 10 ⁴	84 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 14/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
		Permisibles	Entrada	Salida	
		TULAS	4E	4S	
DBO	mg/L	100	90,0	58	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	684×10^4	136×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	404×10^4	80×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 15/01/2016

Ciente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			5E	5S	
DBO	mg/L	100	125,0	60	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	764×10^4	81×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	572×10^4	39×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 18/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			6E	6S	
DBO	mg/L	100	95,0	52,0	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	764×10^4	48×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	600×10^4	28×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 19/01/2016

Ciente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			7E	7S	
DBO	mg/L	100	100,0	50	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	438×10^4	188×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	288×10^4	32×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 20/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			8E	8S	
DBO	mg/L	100	220,0	38	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	1312×10^4	84×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	876×10^4	40×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



IBARRA
cerca de nuestra gente

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 21/01/2016

Ciente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			9E	9S	
DBO	mg/L	100	140,0	40	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	540×10^4	114×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	400×10^4	41×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



IBARRA
cerca de nosotros

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 22/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			10E	10S	
DBO	mg/L	100	120,0	50	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	397×10^4	129×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	233×10^4	72×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 25/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			11E	11S	
DBO	mg/L	100	130,0	80	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	370×10^4	146×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	280×10^4	77×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 26/01/2016

Ciente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
		Permisibles	Entrada	Salida	
		TULAS	12E	12S	
DBO	mg/L	100	225,0	82	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	321 x 10 ⁴	260 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	87 x 10 ⁴	44 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 27/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			13E	13S	
DBO	mg/L	100	120,0	72	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	504 x 10 ⁴	102 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	304 x 10 ⁴	31 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQF. Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



IBARRA
cerca de nuestra gente

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 28/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			14E	14S	
DBO	mg/L	100	125,0	62	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	368×10^4	54×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	172×10^4	30×10^4	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQP Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 29/01/2016

Cliente: Sebastián Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles TULAS	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
			15E	15S	
DBO	mg/L	100	190,0	66	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	N/A	712 x 10 ⁴	164 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	Remoción del 99,9%	352 x 10 ⁴	24 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B

Atentamente,


BQP-Carla Valarezo
CONTROL DE CALIDAD



Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE IBARRA



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA EMAPA-I

LABORATORIO EMAPA-I

Análisis de Aguas Residuales

Responsable: Ing. Christian Tafur

Fecha: 12/09/2016

Cliente: Patricio Mantilla

Parámetros	Unidades	Límites Permisibles*	Muestra y N° de envase		Método de ensayo
			Entrada	Salida	
DBO	mg/L	-	205,0	82	Cuantificación respirométrica SM - 5210 D
Coliformes totales	UFC	-	1144 x 10 ⁴	596 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B
E. coli	UFC	1000 NMP/100mL	780 x 10 ⁴	308 x 10 ⁴	Filtración por membrana SM - 9222 B

* Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola. TULAS 2015.

Atentamente,


BQF. Caña Valarezo
CONTROL DE CALIDAD




Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui Telf. (06) 2641-176 ext:117
laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador

Ibarra, 19 de enero de 2017

Por el presente certifico como Jefa de Laboratorio, que los análisis realizados de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) a las muestras de agua residual entregadas por parte del Sr. Sebastián Mantilla en el laboratorio EMPA-I para uso en su trabajo de tesis, son realizados bajo procesos estandarizados de acuerdo a la técnica del Método Respirométrico 5210 D del Standar Methods el cual fue medido al transcurrir cinco días de reacción de la muestra.

Atentamente,


Bq. Carla Valarezo

ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD
EMPA-I



Ibarra, 23 de enero de 2017

Por el presente certifico como Jefa de Laboratorio, que el método usado para la determinación de Coliformes totales y *E. coli*, es un procedimiento estandarizado de acuerdo a la técnica "Filtración por membrana - 9222 B" del Standar Methods. En el cual indica, cuando son muestras de aguas residuales se realizan diluciones para obtener una densidad de 200 unidades formadoras de colonias y se filtra 100 mL de muestra. Por lo tanto el resultado se lo expresa en unidades formadores de colonias por cada 100 mililitros (UFC /100 mL.).

Atentamente,



Bq. Carla Valarezo

ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD
EMAPA-I

Quito, 20 de enero del 2017

A quien corresponda:

Por medio de la presente, certifico que las plantas que el alumno Sebastián Mantilla trajo al Herbario QCA corresponde a muestras de "Jacinto de agua" *Eichhornia crassipes* y "Lenteja de agua" *Lemna minor*. Estas plantas están formando parte de la flora de las plantas de agua residuales de su estudio de titulación.

Agradeciendo la atención que se de a la presente.

Atentamente,

Catalina Quintana M.

Catalina Quintana PhD
Profesora de Botánica
Escuela de Ciencias Biológicas PUCE

